



DIPLOMARBEIT

Vergleich der Wasser- und Stoffflüsse eines Gebirgs- und eines Talstandortes anhand von Lysimeterversuchsergebnissen im Grünland.

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Diplom-Ingenieurs
unter der Leitung von

Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn.Peter LIEBHARD

Dr. Andreas BOHNER

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung

eingereicht an der Universität für Bodenkultur Wien

Studienrichtung: Landwirtschaft

Von

Monika SEEBACHER

0240392

Grubenstraße 62, 8990 Bad Aussee

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG, PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG	5
1.1	EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG	5
1.2	ZIELSETZUNG	6
2	AUSGEWÄHLTE LITERATUR	7
2.1	LYSIMETER	7
2.1.1	Einsatzbereiche von Lysimetern (Vorteile)	8
2.1.2	Schwächen des Lysimeteinsatzes (Nachteile)	8
2.2	WASSER	10
2.2.1	Der Prozess des Wasserkreislaufes	10
2.2.2	Bodenwasserhaushalt	11
2.2.3	Grundwasserneubildung	16
2.3	STOFFFLÜSSE IM BODEN	18
2.3.1	Stickstoff (N)	18
2.3.2	Phosphor (P)	20
3	MATERIAL	22
3.1	GROßRAUM	22
3.2	KLIMA	24
3.3	VEGETATION	24
3.4	VERSUCHSANLAGE	25
4	METHODEN UND DATENERFASSUNG	30
4.1	LYSIMETER	30
4.2	DATENERFASSUNG UND ÜBERTRAGUNG	32
4.3	LABORANALYSE	33
5	ERGEBNISSE UND INTERPRETATION	35
5.1	KLIMADATEN	35
5.1.1	Gumpenstein	36
5.1.2	Stoderzinken	39
5.2	BODENWASSERGEHALT	43
5.2.1	Gumpenstein	43
5.2.2	Stoderzinken	48
5.3	GRUNDWASSERNEUBILDUNGSRATE	52
5.3.1	Gumpenstein	53

5.3.2	Stoderzinken.....	55
5.4	STOFFFLÜSSE IM BODEN.....	58
5.4.1	Nährstoffeintrag.....	58
5.4.2	Nährstoffkonzentrationen im Sickerwasser an beiden Standorten.....	60
5.4.3	Sickerwassermengen und Nährstoffaustragsmengen am Standort Gumpenstein.....	61
5.4.4	Sickerwassermengen und Nährstoffaustragsmengen am Standort Stoderzinken.....	67
6	DISKUSSION	73
7	SCHLUSSFOLGERUNG	79
8	ZUSAMMENFASSUNG	81
9	ABSTRACT	82
10	ANHANG	91

Danksagung

Mein Dank gilt in erster Linie meinen Betreuern, Herrn Ao.Univ.Prof.Dipl.-Ing.Dr.nat.techn. Peter Liebhard an der Universität für Bodenkultur, der mir vor allem in organisatorischen Dingen zur Seite stand, und Herrn Dr. Andreas Bohner, der diese Arbeit an der HBLFA Raumberg- Gumpenstein ermöglicht und mir immer wieder fachliche Anregungen gegeben hat. Ganz herzlich bedanken möchte ich mich auch bei den restlichen Mitarbeitern der Abteilung Umweltökologie an der HBLFA Raumberg- Gumpenstein, die mich während der Entstehung dieser Arbeit so nett aufgenommen haben und immer für Fragen offenstanden. Allen voran Frau Martina Schink, die mir als Versuchstechnikerin der Lysimeteranlagen alle Rohdaten zur Verfügung stellte und auf alle technischen und datenbezogenen Fragen eine Antwort wusste.

Weiters bedanken möchte ich mich auch bei Frau Karin Dow von der Hydrografischen Abteilung der Steiermärkischen Landesregierung für die zur Verfügung gestellten Rohdaten diverser Niederschlagsmessstellen in der Nähe des Stoderzinkens.

Ein besonderer Dank geht natürlich auch an meine Familie, die mich während der ganzen Studienzeit immer unterstützt hat und mir das Studium ermöglicht hat, und an meine Freunde.

1 Einleitung, Problemstellung und Zielsetzung

1.1 Einleitung und Problemstellung

Wasser ist eines der wichtigsten Güter des menschlichen Gebrauchs. Die Menschen sind darauf angewiesen, Wasser in ausreichender Menge und in guter Qualität für den täglichen Gebrauch als Trinkwasser, aber auch für sehr viele andere Prozesse zur Verfügung zu haben. Der Boden in seinen vielfältigen Funktionen ist hierfür sehr entscheidend, denn er speichert und filtert Wasser und dieses Grundwasser stellt somit einen großen Teil unserer Trinkwasserversorgung dar. In der Steiermark kommen circa 65% des Trinkwassers aus dem Grundwasser (mündliche Auskunft Amt der Steiermärkischen Landesregierung Fachabteilung 19A Wasserwirtschaftliche Planung und Hydrographie, 2006). Doch in den letzten Jahren führten sowohl die zunehmend intensiver werdende Landnutzung, sowie auch klimatische Veränderungen dazu, dass die Grundwasserversorgung nicht immer uneingeschränkt möglich war.

Zum einen besteht eine große Gefahr für die Grundwasserversorgung durch Grundwasserverschmutzung, welche unter anderem durch den Eintrag von Pflanzennährstoffen aufgrund einer übermäßigen oder unsachgemäßen Düngung verursacht wird. Gerade die beiden Elemente Stickstoff und Phosphor, welche beide für Pflanzen unentbehrlich sind und in hohen Mengen zur Verfügung stehen müssen, können in verschiedensten Formen zu sehr großen Problemen führen. Vor allem unter Feldgemüse mit kurzer Vegetationsperiode, Hackfruchtkulturen und Silomais stellt die Grundwasserqualität regional ein großes Problem dar. Daher wurden zum Schutz der Grundwasserqualität von der EU- Wasserrahmenrichtlinie Grenzwerte für diverse Schadstoffe im Grundwasser erstellt. Zusätzlich werden auch die Menge sowie der zeitliche und räumliche Verlauf der Stickstoffdüngung durch die EU-Nitratrichtlinie geregelt. Die Kultur Dauergrünland gilt aber im Allgemeinen als grundwasser-schonend, da das Dauergrünland den Boden ganzjährig und vollständig bedeckt, unter normalen Umständen eine optimale krümelige Bodenstruktur vorhanden ist, und daher alle Prozesse im Boden unter Optimalbedingungen ablaufen.

Das Klima einer Region ist maßgeblich an der Grundwasserneubildung beteiligt. Großen Einfluss haben dabei die jährliche Niederschlagsmenge und -verteilung, sowie die Schneemenge, Infiltrationsmengen und die Lufttemperaturen. Doch gerade die vergangenen Jahre haben gezeigt, dass durch den Klimawandel in den nächsten Jahrzehnten mit großen klima-

tischen Änderungen gerechnet werden muss, die sich auch auf die Grundwasserversorgung auswirken werden. In den vergangenen Jahren kam es im Sommer zu extrem niederschlagsarmen Perioden, in denen es sogar kleinräumig in bestimmten Gebieten Österreichs zu Trinkwasserknappheit kam. Ebenso gibt es wiederum vermehrt Starkregenereignisse, welche zu Naturkatastrophen wie Erdbeben, Überschwemmungen und Muren führen. Durch die ebenfalls ansteigenden Jahresdurchschnittstemperaturen reduzieren sich in tieferen Lagen die Schneemengen. Somit verändern sich sowohl der mengenmäßige als auch der zeitliche Verlauf des Wassereintrages in den Boden durch die Schneeschmelze.

Viele Faktoren machen bewusst, dass es zunehmend schwieriger werden wird, die Wasserversorgung in naher Zukunft in qualitativer als auch in quantitativer Hinsicht aufrecht zu erhalten.

1.2 Zielsetzung

Das Ziel der Arbeit ist es, mit Hilfe von Lysimetern die Unterschiede im Wasser- und Stoffkreislauf der beiden in unterschiedlichen Grünlandgebieten liegenden Standorte herauszuarbeiten. Dabei soll gezeigt werden, wie sich der Standortfaktor und die unterschiedliche Bewirtschaftung auswirken. Es soll aufgezeigt werden, dass Gebirgsstandorte für die Grundwasserversorgung von großer Bedeutung sind, da durch die zumeist extensive Bewirtschaftung kein besonderes Grundwasserverschmutzungspotential vorliegt, und zum anderen die Wassereintragsmengen in den Boden in Gebirgslagen wesentlich höher sind als auf Talstandorten. Es soll zusätzlich der Einfluss der Schneeschmelze auf die Grundwasserneubildung untersucht werden. Der Untersuchungszeitraum für diese Arbeit erstreckte sich von Jänner 2006 bis Juni 2007.

2 Ausgewählte Literatur

2.1 Lysimeter

Das Wort Lysimeter kommt vom griechischen lysis und bedeutet Lösung, Auflösung; metron steht für Maß (www.wikipedia.org/wiki/Lysimeter). „*Ein Lysimeter ist ein Behälter, der oberflächengleich in den Boden eingebaut und mit möglichst gewachsenem Boden gefüllt wird*“ (www.lysimeter.at).

Es sind dies Messanlagen, mit denen der Bodenwasserhaushalt sowie Stoffverlagerungen und– auswaschungen beobachtet und beurteilt werden können. Daher können Fragestellungen über die Versickerung und Grundwasserneubildungsrate, über die aktuelle Evapotranspiration, über Wasservorratsänderungen im ungesättigten und gesättigten Bodenbereich, sowie über den kapillare Aufstieg und den Transport und Austrag gelöster Stoffe untersucht werden (FREY und PECHMANN, 2006).

Ein Lysimeter ist ein Zylinder, der oben und unten offen und zumeist mit einem ungestörten aus der näheren Umgebung stammenden Bodenkern gefüllt ist. Er sollte, um etwaige Nachteile gering zu halten (Oaseneffekt), mit der Umgebung bodengleich abschließen. Unten sind die Lysimeter meist mit einer Lochplatte oder einem Vlies versehen, damit der Bodenkern nicht herausrutscht; das Bodensickerwasser dennoch aufgefangen werden kann. Die Oberfläche des Bodenkerns ist meist gleich wie die angrenzende Vegetation bewachsen, oder nach der zu untersuchenden Fragestellung mit verschiedenen anderen Kulturpflanzen bestellt (www.wikipedia.org).

Tabelle 1 zeigt, dass es sehr viele verschiedene Lysimeterbauarten, die für unterschiedlichste Fragestellungen und Analysen an unterschiedlichsten Standorten angewendet werden können, gibt. Sie werden nach der Größe, nach der Einbringungsart in den Boden und nach weiteren Gesichtspunkten eingeteilt.

Tabelle 1: Lysimeterarten (CEPUDER, 2002)

<p style="text-align: center;">Nach Größe:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Saugkerzen ● Kleinlysimeter ● Lysimeter ● Großlysimeter 	<p style="text-align: center;">Nach Einbringungsart des Bodenschicht:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● befüllte Lysimeter (gestört) ● Monolithe (ungestört)
<p style="text-align: center;">Weitere Einteilung:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● wägbar ● Unterdruck ● Grundwasserspiegel ● geschichtet ● Bewuchs 	<p>„Virtuelles“ Lysimeter</p>

2.1.1 Einsatzbereiche von Lysimetern (Vorteile)

Derzeit gibt es sehr viele unterschiedliche Lysimeteranlagen. Lysimeterstudien sind in vielen Bereichen wie in der Hydrologie, der Land- und Forstwirtschaft und auch in der Ökologie gefragt und ein wichtiger Teil von Forschungsarbeiten. Die weitaus größte Bedeutung haben sie aber in der Land- und Wasserwirtschaft. Der Einsatz von Lysimetern ergibt einige große Vorteile gegenüber anderen Methoden, da dadurch eine Koppelung von Labor- und Freilandversuchen möglich ist. Sie sind außerdem das wesentlichste Hilfsmittel zur Quantifizierung von Wasser- und Stoffströmen im Boden, mit ihrer Hilfe können Parameter für die mathematische Modellierung des Wasser- und Stoffhaushaltes erstellt werden, welche zur Kalibrierung solcher Modelle geeignet sind. Der wohl größte Vorteil liegt darin, dass es derzeit die einzige Methode ist, mit welcher alle Komponenten der Wasserbilanz vollständig erfasst werden können. Außerdem gibt es derzeit eine Vielzahl von verschiedenen Arten von Lysimetern, wie in Tabelle 1 zu sehen ist, die genau auf die jeweiligen Fragestellungen angepasst werden können (FREY und PECHMANN, 2006).

2.1.2 Schwächen des Lysimeteereinsatzes (Nachteile)

Die Lysimetermethode wird in der Fachwelt nicht nur befürwortet, es gibt auch viele Einwände gegen diese Technik, die daher rühren, dass diese Methode auch einige Fehler-

quellen aufweist, die beachtet werden müssen.

Die Lysimetermethode erfordert sehr teure Versuchsanlagen. Die Ausstattung und Bauart muss an den jeweiligen Versuch angepasst werden, da nicht alle Fragestellungen den höchsten technischen Aufwand erfordern. Ein weiterer großer Nachteil besteht darin, dass die Ergebnisse der Lysimetermethode nur eingeschränkt auf größere Flächen übertragbar sind. Zumeist beurteilen die Ergebnisse nur eine begrenzte homogene Fläche. In der Natur sind Böden aber meist sehr heterogen. Zusätzlich kommt es durch den Einbau eines Lysimeters immer zu einer Unterbrechung des natürlichen Bodengefüges, welche Störungen der sonst normalen Wasserbewegung und Wasserspannung erzeugt. Daher weichen die vom Lysimeter gemessenen Werte in der Regel geringfügig von den natürlichen Werten ab. Dies ist bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen.

Auch die Einbringungsart des Lysimeterbodens kann zu Fehlerquellen führen. Die einfachste Einbringungsmethode ist das „Schichtweise Befüllen“. Bei dieser Bauart müssen längere Wartezeiten abgewartet werden, bis die Messergebnisse unbedenklich reproduzierbar sind. Der Boden muss sich erst setzen bis die natürlichen Prozesse wieder normal ablaufen. Bei der Verwendung eines Bodenmonoliths ist darauf zu achten, dass ein genügend großes Bodenvolumen umfasst wird, um repräsentative Ergebnisse zu liefern (FREY und PECHMANN, 2006).

Weiters ist bei der Errichtung der Anlage auf die Minimierung etwaiger Oaseneffekte zu achten. Dies erreicht man dadurch, dass die das Lysimetergefäß umgebende Bodenoberfläche mit der Bodenoberfläche des Lysimeters möglichst identisch sein soll, da es sonst zu Abweichungen in der mikroklimatischen, hydrologischen und vegetationsbedingten Situation kommt. Ansonsten entstehen die sog. Oaseneffekte oder Randeinflüsse, welche einen negativen Einfluss auf die Ergebnisse haben können (v. UNOLD, 2002).

2.2 Wasser

2.2.1 Der Prozess des Wasserkreislaufes

Abbildung 1 zeigt eine vereinfachte Darstellung des Wasserkreislaufes. Wasser ist in der Atmosphäre in Form von Wasserdampf vorhanden, der sich ständig erhöht. Wird ein von der Temperatur abhängiger Sättigungswert der Luft mit Wasserdampf erreicht oder überschritten, so kommt es zur Kondensation. Es bilden sich Regentröpfchen oder Schneekristalle, die, wenn sie zu groß werden um sich in der Atmosphäre halten zu können, in Form von festen (Schnee, Hagel) oder flüssigen Niederschlägen (Regen) zurück auf die Erde kommen. Der Niederschlag trifft zunächst auf die Pflanzendecke auf, wo ein geringer Teil direkt auf den Pflanzen zurück gehalten wird (Interzeption). Dieser Teil wird entweder gleich wieder verdunstet (Interzeptionsverdunstung), oder gelangt zeitverzögert durch Stammabfluss oder Abtropfen auf den Boden (BAUMGARTNER und LIEBSCHER, 1990).

Nach dem Auftreffen auf dem Erdboden kommt es nach der Durchfeuchtung des Bodens zur Infiltration, d.h. das Niederschlagswasser dringt in den Boden ein. Wenn der Boden die Niederschlagswassermenge nicht aufnehmen kann, erfolgt ein oberflächlicher Abfluss, sofern ein Gefälle vorhanden ist. Dieses Wasser rinnt dann in den nächsten Vorfluter. Ist kein Gefälle vorhanden, kommt es zur oberflächlichen Stauung des Wassers in kleinen Mulden und Senken. Nach der Infiltration werden zunächst die Wasservorräte des Bodens wieder aufgefüllt. Sickert mehr Wasser in den Boden als zur Auffüllung der Bodenwasservorräte gebraucht wird, so wird es in tiefere Schichten abgeleitet, wenn keine wasserundurchlässige Schicht vorhanden ist. Anteile dieses Wassers können aber durch kapillaren Hub wieder in höhere Schichten gebracht werden. Das abgeleitete Wasser gelangt in den Grundwasserstrom oder wird an einer wasserundurchlässigen Schicht gestoppt, wodurch es gezwungen wird, sich eine Zeit lang parallel zu der weniger durchlässigen Schicht zu bewegen, bis es entweder zeitverzögert wieder an die Oberfläche gelangt, in einen Fluss oder Bach, oder an anderer Stelle in das Grundwasser fließen kann.

Wasser in den Flüssen oder Bächen bewegt sich dem größten Gefälle folgend auf einen See oder ein Meer zu. Das Wasser in Vorflutern steht auch mit dem unmittelbar an den Wasserlauf angrenzenden Untergrund in Wechselbeziehung. Zusätzlich werden große Wassermengen in Form von Schnee oder Eis über lange Zeiträume hinweg gespeichert. Dieses Wasser kann aber auch durch verschiedenste Prozesse, wie z.B. durch die

Schmelzung, wieder in den Kreislauf gelangen (BAUMGARTNER und LIEBSCHER, 1990).

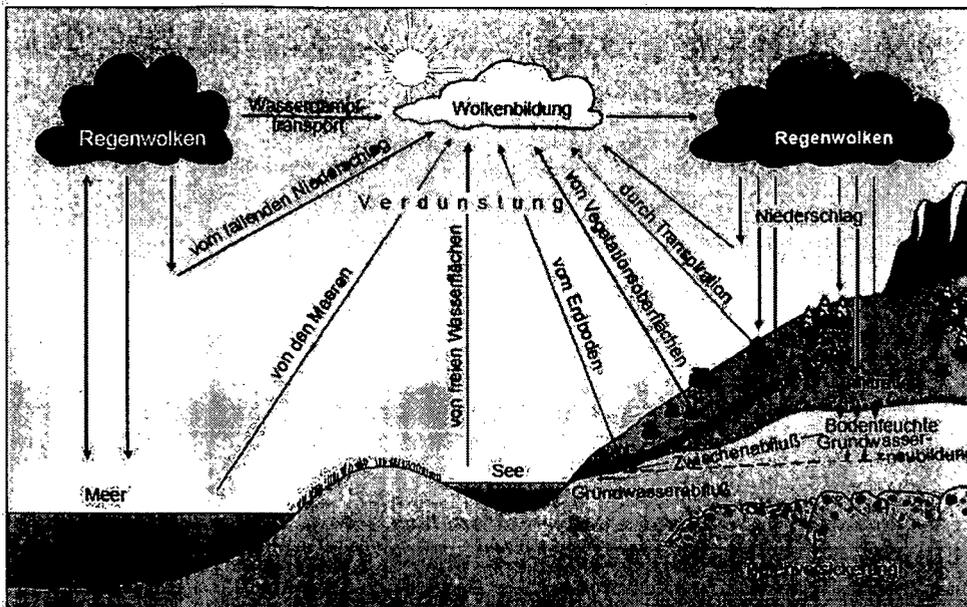


Abbildung 1: Wasserkreislauf vereinfacht dargestellt (NÜTZMANN, 2005)

2.2.2 Bodenwasserhaushalt

Einteilung des Bodenwassers

Unter natürlichen Bedingungen enthält jeder Boden Wasser. Die Wassermenge kann im lufttrockenen Zustand aber sehr gering sein. Bodenwasser wird in Sickerwasser und Haftwasser unterteilt. Wasser, welches keine Bindung mit der Bodenmatrix eingeht, wird als Grund- oder Stauwasser bezeichnet. Grundwasser als Wasservorkommen ist meist das ganze Jahr vorhanden, während Stauwasser nur zu bestimmten Perioden des Jahres auftritt. Gemeinsam ist ihnen der vertikale Verlauf. Das Grundwasser wird nach oben hin durch die Grundwasseroberfläche abgeschlossen. Die Grundwasseroberfläche ist definiert als die Fläche im Boden, deren Wasserdruck dem mittleren Druck der Atmosphäre gleicht (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 2002).

Das an der Bodenmatrix gebundene und so genannte Haftwasser wird ebenfalls unterteilt in Adsorptions- und Kapillarwasser. Adsorptionswasser bezeichnet Wasser, das unter der Wirkung von Adsorptionskräften und osmotischen Kräften die feste Oberfläche von Bodenteilchen umhüllt, ohne dass Menisken gebildet werden. Das Kapillarwasser bildet sich bei

der Adsorption einiger Wasserschichten an der Berührungsstelle der festen Teilchen und bildet Menisken aus. Es besitzt jedoch keine Verbindung zum Grundwasser. Der überwiegende Teil des Wassers unterliegt sowohl Adsorptions- als auch Kapillarkräften. Ist dies nicht der Fall, so entsteht Sickerwasser, welches sich mit der Schwerkraft nach unten bewegt (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 2002). Dieses Sickerwasser gelangt in das Grundwasser und ist somit maßgeblich verantwortlich für die Grundwasserneubildung, welche an der Oberfläche des oberflächennahen Grundwasserkörpers stattfindet.

Feldkapazität und permanenter Welkepunkt

Diese beiden Parameter sind für das Pflanzenwachstum und den Bodenwasserhaushalt von großer Bedeutung. Wenn die Wasserzufuhr in den Boden, z. B. nach einem längeren Niederschlag, beendet ist, so ändert sich der Wassergehalt im Boden allmählich in Richtung eines ausgeglichenen hydraulischen Potentials. Es wird ca. 2 bis 3 Tage nach Beendigung der Wasserzufuhr ein Gleichgewicht erreicht. Der Wassergehalt, der bei diesem Zustand im Boden auftritt, wird als Feldkapazität bezeichnet. Wenn der Pflanzenbestand dem Boden Wasser entzieht, so kommt es, dass die Pflanze das durch die Transpiration verdunstete Wasser nicht mehr durch Bodenwasser ersetzen kann, da weitere Wassermengen im Boden fest gebunden sind und damit nicht mehr losgelöst werden können. Die Pflanze welkt, obwohl sich noch Wasser im Boden befindet. Der Wasseranteil im Boden zu diesem Zeitpunkt wird als „Permanenter Welkepunkt“ bezeichnet.

Das pflanzenverfügbare Wasser, welches auch als nutzbare Feldkapazität bezeichnet wird, ergibt sich aus der Differenz zwischen Feldkapazität und „Permanenter Welkepunkt“, was in Abbildung 2 ersichtlich ist (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 2002).

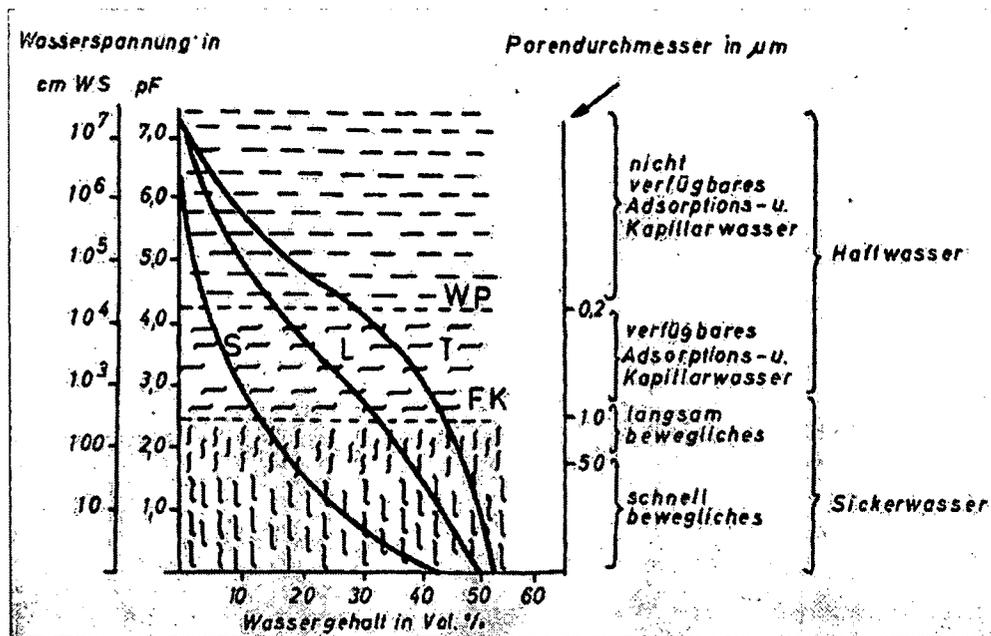


Abbildung 2: Der Wassergehalt in Vol. % in Abhängigkeit von der Wasserspannung in den Texturen Sand, Lehm und Ton (pF-Kurven) (MÜCKENHAUSEN, 1993)

Wassergehalt des Bodens

Der Wassergehalt des Bodens ist definiert als die Wassermenge im Boden und ändert sich mit den Witterungsverhältnissen. Das Bodenwasser befindet sich in den Poren und kann durch verschiedene Methoden, wie durch die gravimetrische Methode oder durch indirekte Methoden, ermittelt werden. Bei der gravimetrischen Methode wird durch die Trocknung einer Bodenprobe bei 105°C ein Gewichtsverlust erreicht. Die damit ermittelte Gewichts-differenz entspricht dem Bodenwassergehalt. Der Nachteil dieser Methode ist, dass sie eine Probenentnahme voraussetzt und somit nicht zerstörungsfrei ist (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 2002).

Bei den indirekten Methoden werden Messfühler in den Boden eingebaut und somit laufende Messungen ermöglicht. Das Prinzip dieser Methode beruht auf der Tatsache, dass die Weitergabe von Impulsen verschiedenster Art im Boden im Wesentlichen vom Wassergehalt abhängig ist. Die bedeutendste Methode hier ist die Time- Domain- Reflectometrie (TDR). Dabei wird der Wassergehalt durch Messung der dielektrischen Eigenschaften des Mediums zwischen zwei oder mehreren Elektroden ermittelt. Es wird die Laufzeit eines Pulses durch die im Medium befindlichen Elektrodenstäbe gemessen (UMS, 2005).

Wasserspannung

Ein bedeutender Parameter bei der Erfassung des Bodenwasserhaushaltes ist neben dem Wassergehalt noch die Wasserspannung. Sie gibt an, mit wieviel Kraft das Wasser in der Bodenmatrix gebunden ist (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 2002). Wasserspannung wird aber aufgrund der Heterogenität der Kräfte im Boden als Potential angegeben. *„Das Potential wurde erstmals von BUCKINGHAM (1907) definiert, als die Arbeit, die notwendig ist, um eine Einheitsmenge Wasser von einem gegebenen Punkt eines Kraftfeldes zu einem Bezugspunkt zu transportieren“* (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 2002). Auf den Boden bezogen entspricht dies der Arbeit, die notwendig ist, um eine Mengeneinheit Wasser von einer freien Oberfläche auf eine bestimmte Höhe in einer Pore zu heben. Dabei bewegt sich Wasser immer von Stellen höheren Potentials zu Stellen mit niedrigerem Potential (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 2002).

Außerdem nehmen die Bindungskräfte mit Annäherung an die Teilchenoberfläche zu, d.h. dass die Wasserspannung bei einem geringen Bodenwassergehalt hoch ist, während sie bei einem hohen Wassergehalt gering ist. Somit hat frei versickerndes Wasser eine Wasserspannung von 0, während ein absolut trockener Boden Wasser mit einer Saugspannung von etwa 10.000 bar anzieht. Da der Spannungsbereich des Wassers in der Einheit bar sehr groß ist, wird häufig der pF-Wert angegeben. Der pF-Wert ist der dekadische Logarithmus der Wasserspannung in mbar. Somit werden Werte von 0 bis 7 gemessen, was ebenfalls aus Abbildung 2 hervorgeht (MÜCKENHAUSEN, 1993).

Gesamtpotential (Ψ)

Das Gesamtpotential entspricht der Summe aller Teilpotentiale, die durch verschiedene Kräfte im Boden hervorgerufen werden. Bezugspunkt hierfür ist eine unter atmosphärischem Druck stehende freie Wasseroberfläche, deren Wasser die gleiche Temperatur hat und die gleichen gelösten Stoffe in derselben Konzentration enthält wie das Bodenwasser. Das Gesamtpotential kann aber nur in den seltensten Fällen direkt ermittelt werden, daher ist es üblich Teilpotentiale zu messen.

$$\Psi = \Psi_z + \Psi_m + \Psi_g + \Psi_o$$

Ψ_z Gravitationspotential

Ψ_m Matrixpotential

Ψ_g Osmotisches Potential

Ψ_o Gaspotential

Gravitationspotential (Ψ_z)

Das Gravitationspotential entspricht der Arbeit, die notwendig ist, um Wasser über die Oberfläche gegen die Schwerkraft zu heben. Es kann in Masse-, Volumen- oder Gewichtseinheiten angegeben werden. Das Gravitationspotential erhält immer ein positives Vorzeichen.

Matrixpotential (Ψ_m)

Im Matrixpotential kommen die von der Matrix ausgeübten Kräfte auf das Wasser zum Ausdruck. Je weniger Wasser ein Boden enthält, umso fester ist dieses an die Matrix gebunden und damit müssen höhere Kräfte aufgewendet werden, um es dem Boden zu entziehen. Das Matrixpotential wirkt dem Gravitationspotential entgegen und erhält somit ein negatives Vorzeichen, welches aber häufig unberücksichtigt bleibt und der Zahlenwert alleine häufig als Wasserspannung bezeichnet wird.

Osmotisches Potential (Ψ_g)

Da im Boden niemals reines Wasser vorhanden ist, kommt im osmotischen Potential der unterschiedliche Energiegehalt von wässrigen Lösungen zum Ausdruck. Es entspricht der

Arbeit die notwendig ist, um eine Einheitsmenge Wasser durch eine semipermeable Membran aus der Bodenlösung zu ziehen.

Gaspotential (Ψ_0)

Das Gaspotential muss berücksichtigt werden, wenn der Gasdruck im Boden nicht dem der Bezugsebene entspricht.

Bestimmung von Potentialen

Das Gesamtpotential kann über den relativen Wasserdampfdruck bestimmt werden. Es werden dabei psychometrische Methoden verwendet. Da diese Messungen sehr aufwendig sind, wird in den meisten Fällen auf die Messung des Matrixpotentials durch Tensiometer zurückgegriffen. Ein Tensiometer besteht aus einer keramischen, wasserdurchlässigen Zelle, die mit einem Manometer in Verbindung steht. Die Zelle und der freie Raum zum Manometer sind mit Wasser gefüllt. Wenn die Zelle genau in der Grundwasseroberfläche liegt, so zeigt das Manometer den Wert 0 an. Je trockener der Boden ist, umso mehr Wasser wird aus dem Tensiometer gesaugt, und umso höher ist damit der vom Manometer angezeigte negative Druck. Die Anzeige erfolgt in cm Wassersäule oder in bar.

Beziehung zwischen Wasserspannung und Wassergehalt

Die Wassermenge, die bei einem bestimmten Matrixpotential an einem Ort in einem Boden vorliegt, ist vom Porenvolumen und der Porengrößenverteilung abhängig. Der Verlauf der Beziehung zwischen Matrixpotential bzw. Wasserspannung und Wassergehalt ist daher für jeden Horizont und jede Schicht charakteristisch. Er wird als Wasserspannungskurve, pF- Kurve oder Bodenwassercharakteristik bezeichnet. Abbildung 2 zeigt den Verlauf (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 2002).

2.2.3 Grundwasserneubildung

Die Grundwasserneubildungsrate ergibt sich aus dem Volumen des von der ungesättigten in die gesättigte Bodenzone infiltrierenden Wassers pro Fläche und Zeitspanne (HÖLTING, 1996). Dafür wird eine definierte Fläche verwendet die dem unterirdischen Einzugsgebiet entspricht, welches durch unterirdische Wasserscheiden begrenzt ist und daher auch nicht mit dem oberirdischen Grundwassereinzugsgebiet identisch ist (www.umweltbundesamt.de).

Die Grundwasserneubildung kann entweder direkt mit Lysimetern durch die Erfassung der

Sickerwasserrate, oder durch eine Grundwassermodellierung ermittelt werden, welche sich durch folgende Formel ergibt:

$$G = QGWA - QGWZ + Q_i \pm \Delta R$$

G= Grundwasserneubildung [mm/d]

QGWA= Grundwasserabstrom [mm/d]

QGWZ= Grundwasserzustrom [mm/d]

Q_i = Grundwasserabflusskomponente [mm/d]

ΔR = Grundwasservorratsänderung

(SCHÖNINGER und DIETRICH, 2003)

Zur Ermittlung der Grundwasserneubildung mit Lysimetern wird aber zumeist die Annahme:

$$G = N - E_a$$

herangezogen, wobei G der Grundwasserneubildung entspricht, N der Niederschlagssumme und E_a der Evapotranspiration (SEILINGER, 2002).

Die Ergebnisse, welche mit dieser einfachen Annahme ermittelt werden, müssen allerdings mit Vorsicht beurteilt werden, da nur die wichtigsten Komponenten des gesamten Wasserkreislaufes einbezogen werden. So werden etwaige Verluste durch mögliche Oberflächen- und Zwischenabflüsse vernachlässigt. Es wird bei der Ermittlung der Grundwasserneubildungsrate mit dem Lysimeter davon ausgegangen, dass die Grundwasserneubildung dem Sickerwasser gleichzusetzen ist. Dies gilt aber nur dann, wenn die Sickerwassersammlung in der gesättigten Zone des Bodens stattfindet. Meist findet die Sickerwassersammlung aber in der ungesättigten Zone des Bodens statt und es kann zu kleineren Abweichungen kommen. Ursache ist der kapillare Aufstieg von Wasser, der unter natürlichen Bedingungen im Zwischenraum zwischen der ungesättigten und der gesättigten Zone noch stattfindet (SCHÖNINGER und DIETRICH, 2003).

Im humiden Klimagebiet kommt der Niederschlagsmenge die entscheidende Rolle bei der Grundwasserneubildung zu. Daher sind der Winterzeitraum und der Frühling mit der Schneeschmelze die entscheidenden Zeiten für die Grundwasserneubildung, während im Sommer durch die hohe Transpiration der Pflanzen beträchtliche Mengen an Bodenwasser

verbraucht werden und somit meist nur Starkregenereignisse zur Grundwasserneubildung beitragen können (SEILINGER, 2002).

2.3 Stoffflüsse im Boden

Es gibt eine Vielzahl von Elementen im Boden, die von den Pflanzen über die Wurzeln aufgenommen werden und so den Pflanzen als Nährstoffe dienen. Der überwiegende Teil der Nährstoffe im Boden ist nativ vorhanden, d. h. er wird durch die Verwitterung des Ausgangsgesteins geliefert. Weitere Teile kommen durch die Düngung, durch den Eintrag aus der Atmosphäre, von Niederschlägen und durch das Sicker- bzw. Grundwasser in den Boden. Sie sind dann mehr oder weniger mobil in der Bodensubstanz, vor allem in der organischen Substanz, gespeichert; als Salze, absorbiert an Absorbenten und zwischen Tonmineralschichten, als Komplexe oder als Gitterbaustein in Silikaten und im Inneren von Eisen- und Manganoxiden.

Im Boden verlaufen verschiedene Prozesse parallel, bei denen es zur Mobilisierung, aber auch zur Fixierung von Nährstoffen kommen kann. Einen großen Einfluss auf die Nährstofflöslichkeit im Boden hat der pH-Wert.

Im humiden Klimabereich werden mobile Nährstoffe mit dem Sickerwasser im Boden nach unten verlagert. Sie werden zum Teil aus dem Wurzelraum ausgewaschen und gelangen somit in das Grundwasser. Die Menge, die auf diesem Wege ins Grundwasser gelangt, hängt von der Konzentration und von der Menge des Sickerwassers ab. Aus der Konzentration des Sickerwassers darf aber nicht automatisch auf den Stoffeintrag ins Grundwasser geschlossen werden, da es in der Zone zwischen Wurzelraum und Grundwasseroberfläche noch zu vielen Prozessen, wie z. B. zur Denitrifikation und zu Verdünnungsprozessen kommen kann (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 2002).

Alle Stoffe im Boden unterliegen bestimmten Kreisläufen. In der vorliegenden Arbeit werden nur die Kreisläufe von Stickstoff und Phosphor repräsentativ für weitere bearbeitet.

2.3.1 Stickstoff (N)

Der Stickstoff weist innerhalb der Nährstoffe im Boden eine Sonderstellung auf: Einerseits, da er kaum in den Ausgangsgesteinen der Böden vorhanden ist und somit hauptsächlich über die Düngung zugeführt werden muss; andererseits weil er am stärksten zum Ertrag beiträgt und im Boden vielfachen Umsetzungen und Umwandlungen unterliegt. Er kann aber auch zur Eutrophierung von Oberflächengewässern beitragen und so das Trinkwasserreser-

voir beeinträchtigen. Zudem sind gasförmige Stickstoff- Verbindungen klimarelevant (GERZABEK, 2002).

90-95% des Stickstoffes im Oberboden sind organisch gebunden, z.B. in Aminosäuren. Der Stickstoffgehalt im Oberboden beträgt um die 0,1-0,2%. Dies entspricht einer N- Menge von 3000-6000 kg ha⁻¹. Zwischen dem Stickstoff- und dem Kohlenstoffgehalt im Boden gibt es einen engen Zusammenhang. So soll das C:N- Verhältnis 10-15:1 betragen (GERZABEK, 2002). Im Boden kommt Stickstoff anorganisch gebunden und pflanzenverfügbar zumeist in Form des leicht auswaschbaren Nitrats (NO₃) vor und nur in kleinen Mengen als Ammonium (NH₄). Dies ist dadurch begründet, dass das aus der mikrobiellen Zersetzung organischer Stoffe ständig entstehende Ammonium nicht angereichert, sondern mikrobiell zu Nitrat umgewandelt wird (GERZABEK, 2002).

Im Boden unterliegt Stickstoff einem kontinuierlichen Kreislauf zwischen anorganischen und organischen Verbindungen, welcher in Abbildung 3 grafisch dargestellt wird. Der Stickstoff-Eintrag in den Boden erfolgt durch die mineralische und organische Düngung, durch die „Nasse Deposition“, sowie durch atmosphärischen Stickstoff, der durch frei lebende oder mit Pflanzen in Symbiose lebende Mikroorganismen fixiert werden kann. Es kommt im Boden zu verschiedensten Vorgängen wie zur Mineralisierung, welche die mikrobielle Umwandlung von organischem Stickstoff in mineralischen Stickstoff darstellt und wodurch große Mengen an Nährstoffen freigesetzt werden. Der entgegen gesetzte Vorgang ist die Immobilisierung. Dabei wird mineralischer Stickstoff umgewandelt in organischen Stickstoff und liegt somit nicht mehr als pflanzenverfügbarer Nährstoff vor. Unter ungünstigen Bedingungen kann es auch zur so genannten Denitrifikation kommen. Diese stellt den Verlust von Nitrat oder Nitrit aus dem Boden in Form von Lachgas (N₂O) in die Atmosphäre dar. Weitere Verlustquellen von Stickstoff aus dem Boden sind die Entgasung und die Auswaschung. Dabei geht bei der Entgasung Ammoniak (NH₃) aus dem Boden in die Atmosphäre verloren, während bei der Auswaschung Teile des im Boden befindlichen Nitrats mit dem Sickerwasserstrom verloren gehen. Alle Verlustquellen des Stickstoffs stellen eine große Belastung für die Umwelt dar (ROWELL, 1994).

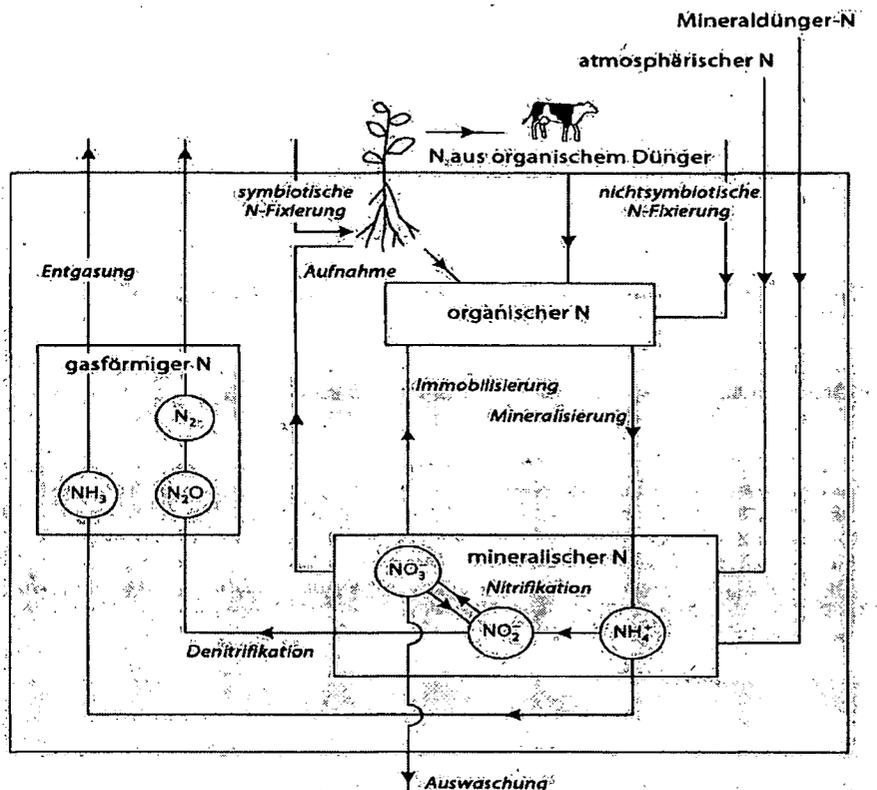


Abbildung 3: Der Kreislauf des Stickstoffs (ROWELL, 1994)

2.3.2 Phosphor (P)

Phosphor ist in relativ geringen Mengen in Gesteinen und in der Biomasse gespeichert, daher ist die Löslichkeit der phosphathaltigen Minerale sehr gering. Phosphate gehen zumeist starke Bindungen an Partikeloberflächen ein. Somit ist die Phosphor-Konzentration der Bodenlösung in den meisten Böden niedrig, weshalb Phosphor ebenfalls in großen Mengen über die Düngung zugeführt werden muss (ROWELL, 1994). Es kommen auch geringe Mengen an Phosphor über die „Nasse Deposition“ in den Boden. Der Phosphorgehalt in den Böden variiert sehr stark aufgrund von Ausgangsgestein, Textur, Entwicklungsgrad des Bodens und Düngung. Der durchschnittliche Gehalt von Mineralböden beträgt 0,05% und ist damit sehr niedrig. In sehr humusreichen Böden kann der Gehalt aber durchaus höher sein (SCHAFFER, 2001).

Phosphor liegt in den Böden hauptsächlich in fester Form vor. In der Bodenlösung sind nur ca. 0,1% des gesamten Gehaltes an Phosphor des Bodens vorhanden. In fester Form

kommt er im Boden gebunden an Sorbenten in Form von anorganischen Salzen vor, aber auch in organischen Verbindungen oder in Bodenorganismen. Phosphor im Boden kommt immer als Orthophosphat vor. Bei anorganischen Phosphaten gehen die Kationen Calcium, Aluminium und Eisen Verbindungen mit Phosphat- Anionen ein. Ihre Löslichkeit ist sehr stark vom pH-Wert abhängig. Sorbierte Phosphate hingegen stellen anorganische Salze dar, welche an Sorbenten gebunden sind. Der Anteil des organischen Phosphates am Gesamt- Phosphat variiert sehr stark. Er kann zwischen 25 und 65% liegen, wovon der Hauptteil in der obersten Bodenschicht zu finden ist (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 2002). In Grünlandböden kann dieser Anteil aber auch auf bis zu 90% steigen (mündliche Auskunft BOHNER, HBLFA Raumberg- Gumpenstein) Die wichtigste Form sind verschiedene Phytate. In Abbildung 4 wird das Vorkommen der einzelnen Phosphatformen im Boden nochmals grafisch dargestellt.

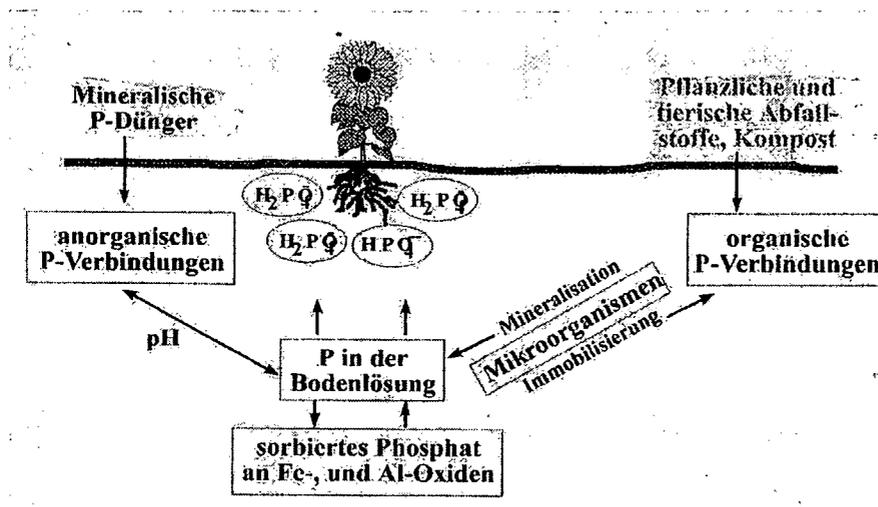


Abbildung 4: Kreislauf des Phosphors (SCHAFER, 2001)

3 Material

3.1 Großraum

Beide gegenüberzustellenden Versuchsstandorte liegen geografisch relativ eng beieinander wie aus der Abbildung 5 ersichtlich ist. Dennoch gibt es geologisch und auch klimatisch erhebliche Unterschiede zwischen den beiden Standorten.



Abbildung 5: Standorte/ Gumpenstein und Stoderzinken (FREYTAG und BERNDT, 2001)

Die HBLFA Raumberg- Gumpenstein liegt nahe Irnding im steirischen Ennstal. Der Standort befindet sich in der Grauwackenzone, einem schmalen geologischen Bereich zwischen Nördlichen Kalkalpen und Zentralalpen. Dieser ist aus relativ weichen und leicht verwitterbaren Gesteinen aufgebaut, wie aus paläozoischem Schiefer, Glimmerschiefer, aus verschiedenen Kalken sowie im Bereich des Ennstales aus Phylliten. Die Berge sind meist rundliche, sanfte Kuppen, die zum größten Teil von Wald bedeckt sind, es gibt aber auch viele Almen. Die Grauwackenzone reicht in Österreich vom Arlberg bis ins Wiener Becken, wobei sie zumeist von geringer Breite ist (<http://aeiou.iicm.tugraz.at/>).

Der Stoderzinken (zweite Lysimeteranlage) ist ein Berg in den Nördlichen Kalkalpen. Diese erstrecken sich in Österreich von Vorarlberg bis zum Wiener Becken mit einer Breite von 25-45 km. Im Süden werden sie von der Grauwackenzone begrenzt, im Norden von der Flyschzone, auf die sie im Zuge der alpinen Gebirgsbildung über die Zentralalpen aufgeschoben wurden. Die nördlichen Kalkalpen sind daher ein typisches Deckengebirge. Sie bestehen aus mesozoischen Gesteinen (Kalke und Dolomiten). Die Nördlichen Kalkhochalpen sind stark verkarstet, aber nur wenig vergletschert. Das Klima ist eher kühl (<http://www.aeiou.at>). Eine weitere Besonderheit der Nördlichen Kalkalpen ist die hohen Niederschlagsmenge, welche in Abbildung 6 ersichtlich wird, und die daraus resultierende enorme Grundwasserneubildungsrate, wodurch die Nördlichen Kalkalpen von großer Bedeutung für die Trinkwasserversorgung sind (<http://www.biodiv.at>). Der Stoderzinken ist ein 2048 m hoher und für diese geologische Zone charakteristischer Berg bei Gröbming im steirischen Ennstal.

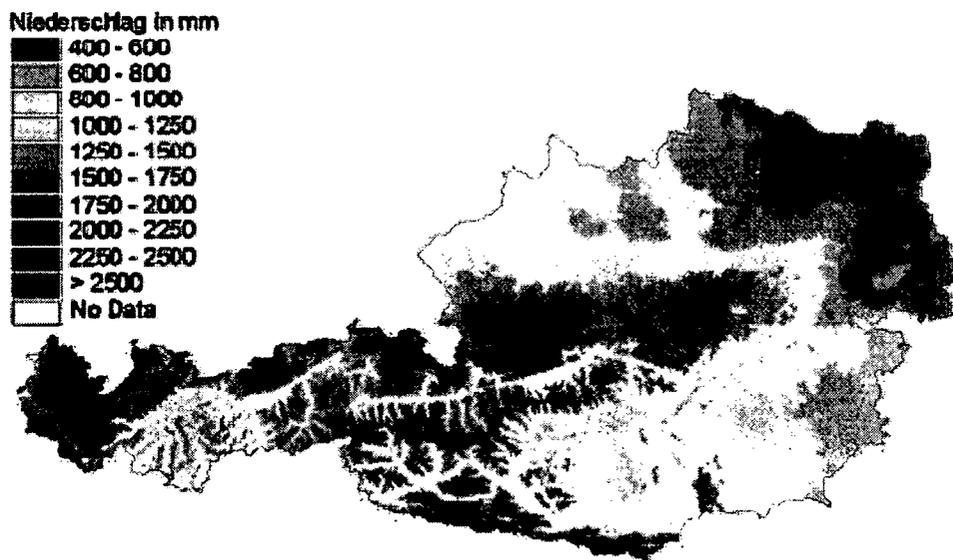


Abbildung 6: Niederschlagsverteilung in Österreich (Schaumberger, 2005)

3.2 Klima

Die Lysimeteranlagen der HBLFA Raumberg- Gumpenstein liegen auf einer Seehöhe von 700 m. Die geografischen Koordinaten lauten: 47° 36 . 752' N und 14° 30. 874' E. Die Juli-Temperatur beträgt im langjährigen Mittel (1953-2004) 16,4°C, die Jänner-Temperatur 3,5°C, und die Jahresmitteltemperatur liegt bei 6,9°C. Die durchschnittlichen Jahresniederschläge erreichen eine Höhe von 1031mm und sind relativ gleichmäßig übers Jahr verteilt. Die Schneedeckenperiode beträgt im langjährigen Mittel 101 Tage. Das Untersuchungsgebiet weist ein winterkaltes, sommerkühles, relativ niederschlags- und schneereiches, kontinental beeinflusstes Klima auf. Die Versuchsflächen repräsentieren einen charakteristischen österreichischen Grünlandstandort (BOHNER und EDER, 2006).

Der Versuchsstandort am Stoderzinken liegt auf einer Seehöhe von 1830 m, mit den geografischen Koordinaten 47°27. 518' N und 13°48 . 947'EO. Da die Versuchsstation erst im Sommer 2005 errichtet wurde, bestehen derzeit noch keine langjährigen Klimaaufzeichnungen. Somit können in dieser Arbeit nur durchschnittliche Temperaturen von 2006 angegeben werden. Die durchschnittliche Jänner-Temperatur 2006 lag bei – 6,1°C, und die durchschnittliche Juli-Temperatur lag bei 13°C. Weiters betrug die durchschnittliche Jahrestemperatur 2006 2,7°C. Es gab leider keine exakte Möglichkeit, die Niederschläge in der ersten Zeit zu messen, da der OTT Parsivel, ein Spezialgerät zur Messung der Niederschläge, erst ab März 2007 brauchbare Daten lieferte. Ebenso waren die Mengen, die mit den Hellmannschen Niederschlagssammlern erfasst wurden, unrealistisch. So blieb nur die Möglichkeit, eine Regression mit den vorhandenen Parsiveldaten und einer Niederschlagsmessstelle in der nahen Umgebung vorzunehmen. Dabei wurden Niederschlagsdaten von den Stationen Michaelerberg und Planai herangezogen. Bei beiden Regressionsrechnungen werden Jahresniederschlagsmengen von annähernd 1660 mm ermittelt. In den letzten beiden Wintern (2005/06 und 2006/07) dauerte die Schneedeckenperiode circa 190 Tage.

3.3 Vegetation

Am Lysimeterstandort in Gumpenstein wurde 1992 als Vegetationsdecke ein Kleegrasbestand etabliert, aber im Laufe der Jahre hat sich der Bestand zu einer Frauenmantel- Glatt-hafer Wiese entwickelt. Dies ist ein typischer Dauergrünlandbestand, der weit verbreitet ist und am häufigsten auf frischen Braunerden vorkommt. Es handelt sich dabei um eine mehrschichtig- aufgebaute Pflanzengesellschaft, mit Ober- und Untergräsern, sowie mit bodennahen Leguminosen und Kräutern. Diese Bestände werden in der Regel 2-bis 3-mal pro

Jahr genutzt und sind somit nicht allzu intensive genutzte Bestände, was dem Durchschnitt der österreichischen Wiesen entspricht (ELLENBERG, 1996).

Die Vegetationsdecke der Versuchsfläche am Standort Gumpenstein setzt sich wie folgt zusammen:

- Gräser 45%
- Leguminosen 15%
- Kräuter 40%

Eine genaue Vegetationsaufnahme des Bestandes ist in Tabelle 15 im Anhang ersichtlich.

Die Vegetation am Lysimeterstandort Stoderzinken besteht aufgrund der hohen Lage aus einer feuchten Ausbildung einer Milchkrautweide. Dies ist eine typische Pflanzengesellschaft der Zentral- und Nördlichen Kalkalpen, wo es hohe Niederschlagsmengen und eine lange Schneedeckenperiode gibt. Sie kommt hauptsächlich auf frischen bis krumenpseudovergleyten, meist lehmig tonigen Böden vor. Die überwiegende Nutzung geschieht in Form von Weide. Es sind zumeist sehr artenreiche, krautreiche Bestände, was in Tabelle 16 im Anhang zu sehen ist (ELLENBERG, 1996).

3.4 Versuchsanlage

Der Feldversuch am Standort Gumpenstein mit der Kulturart Dauergrünland (früher Klee-gras) wurde 1992 in zweifacher Wiederholung angelegt und seit dieser Zeit unter gleich bleibenden Bedingungen bewirtschaftet und gedüngt. Jede Versuchsparzelle hat eine Fläche von 20 m². Die Dauerwiese wird dreimal pro Jahr gemäht (14.06.06; 31.07.06; 20.09.06). Es ergab sich ein Jahresertrag von annähernd 72 dt ha⁻¹, was ein durchaus normaler Ertrag für diese Bewirtschaftungsform ist. Gedüngt wird mit Hyperphosphat im Frühjahr (310 kg ha⁻¹ gesamt, das sind 90 kg P₂O₅, ha⁻¹ = 39,3 kg P ha⁻¹, am 18.04.06) sowie mit Patentkali im Frühjahr (18.04.06) und nach dem ersten Schnitt (am 14.06.06; jeweils 333 kg ha⁻¹ gesamt, das sind je 100 kg K₂O ha⁻¹ = 83 kg K ha⁻¹). Der Boden ist eine tiefgründige Braunerde aus fluvioglazialen Sedimenten mit der Bodenart lehmiger Sand. Eine genaue Bodenansprache ist der Tabelle 2 zu entnehmen. Der Wasserhaushalt wird als frisch bewertet. Es liegt eine ausreichende Phosphor-, aber eine sehr schlechte Kalium-

Versorgung (CAL) vor.

Tabelle 2: Bodenprofil Standort Gumpenstein

Horizontbezeichnung und -mächtigkeit	Beschreibung
A 0 - 25 cm	M = 10 YR 4/2+ 4/3 humos; stark durchwurzelt; schwach steinig; grusiger, lehmiger Sand; deutlich plattig und bockig- kantengerundet; karbonatfrei; allmählich übergehend
B1 25 - 50 cm	M = 10 YR 4/3 durchwurzelt; steinig; grusiger lehmiger Sand; deutlich blockig- kantengerundet; karbonatfrei; allmählich übergehend
B2 50 - 100 cm	M = 10YR 4/3 Schwach durchwurzelt; steinig; grusiger lehmiger Sand; deutlich blockig- kantengerundet; karbonatfrei; vereinzelt deutliche Schluff- Linsen; allmählich übergehend
B3 ab 100 cm	M = 10 YR 5/3 + 4/3 schwächst durchwurzelt (vereinzelt Wurzeln auch in 1m Tiefe); steinig; grusiger lehmiger Sand; deutlich blockig- kantengerundet; karbonatfrei; vereinzelt deutliche Schluff- Linsen

Der C- Horizont beginnt in einer Bodentiefe von 1,5 m und besteht aus fluvioglazialen Sedimenten (hauptsächlich Phyllite).

Zur Quantifizierung der Nährstoffausträge mit dem Sickerwasser wurden die Sickerwassermengen mit Hilfe eines monolithischen Feldlysimeters erfasst. Dieser hat eine kreisförmige Oberfläche von 1 m². Die gesamte Lysimeteranlage ist in Abbildung 7 ersichtlich.

Die Sickerwassersammlung erfolgt über Freiausläufe an der Lysimeterunterkante in 1,5 m Bodentiefe. Die Durchwurzelungstiefe beträgt im Untersuchungsgebiet unter Dauergrünland ca. 60 cm. Somit werden mit Hilfe des monolithischen Feldlysimeters die Nährstoffausträge

mit dem Sickerwasser unterhalb der Wurzelzone erfasst. Die Nährstoffausträge werden durch Multiplikation der Sickerwassermenge mit der Nährstoffkonzentration im Sickerwasser berechnet. Zur Quantifizierung der Nährstoffeinträge aus der Atmosphäre wurde die „Nasse Deposition“ mit einem Niederschlagssammler erfasst. Die deponierte Nährstoffmenge wurde aus der Nährstoffkonzentration im Niederschlag und der Niederschlagsmenge berechnet. Die Bestimmung der Nährstoffkonzentrationen im Sickerwasser und im Niederschlag erfolgte mit der Ionenchromatographie (BOHNER und EDER, 2006).



Abbildung 7: Lysimeteranlage am Standort Gumpenstein (HBLFA Raumberg- Gumpenstein)

Die Lysimeteranlage am Stoderzinken, welche in Teilen in Abbildung 8 ersichtlich ist, wurde im Sommer 2005 errichtet. Das Umland ist eine Almfläche, die beweidet wird. Der Bereich des Lysimeters ist mit einem Zaun versehen, und musste daher im Sommer 2006, am 11. August, gemäht werden. Der Ertrag lag bei 13,7 dt TM. Es erfolgt keine Düngung der Versuchsfläche. Der Bodentyp ist wie aus der Tabelle 3 hervorgeht, ein Komplex aus einem krumenpseudovergleytem Kalkbraunlehm und einer Kalklehm- Rendzina. Der Wasserhaushalt ist ebenfalls als frisch bzw. nivigen- krumenwechselfeucht einzustufen.

Tabelle 3: Bodenprofilbeschreibung Stoderzinken

Horizontbezeichnung und -mächtigkeit	Beschreibung
A 0-3 cm	M = 10/YR 3/1+ 2/1 Stärkst durchwurzelt; stärkst humos; Mull; feinkrümelig; schluffiger Lehm; karbonatfrei; übergehend
ABP 3-9 cm	M = 10YR/4/3 Stark durchwurzelt; humos; deutlich plattig; schluffiger Lehm; karbonatfrei; zahlreiche deutliche Roströhren; vereinzelt Holzkohlenreste; allmählich übergehend;
B 9- 15/35cm	M = 10YR/4/4 Durchwurzelt; undeutlich blockig- scharfkantig; schluffiger Lehm; karbonatfrei; vereinzelt Holzkohlenreste; übergehend;
C ab 15/35 cm	Kalkschutt; schwach durchwurzelt; stark karbonathaltig

Die Nährstoffausträge werden mit einem monolithischen Feldlysimeter ermittelt. Es handelt sich dabei um einen wägbaren Lysimeter mit einer Oberfläche von 1 m² und einer Tiefe von 1 m. Die Sickerwassersammlung erfolgt in 1 m Bodentiefe. Der Boden ist bis in eine Tiefe von 9 cm stark durchwurzelt, darunter bis 35 cm nur noch schwach; somit werden auch hier die Nährstoffausträge mit dem Sickerwasser unterhalb der Wurzelzone erfasst. Die Nährstoffein- und austräge und Konzentrationen werden wie oben angeführt ermittelt.

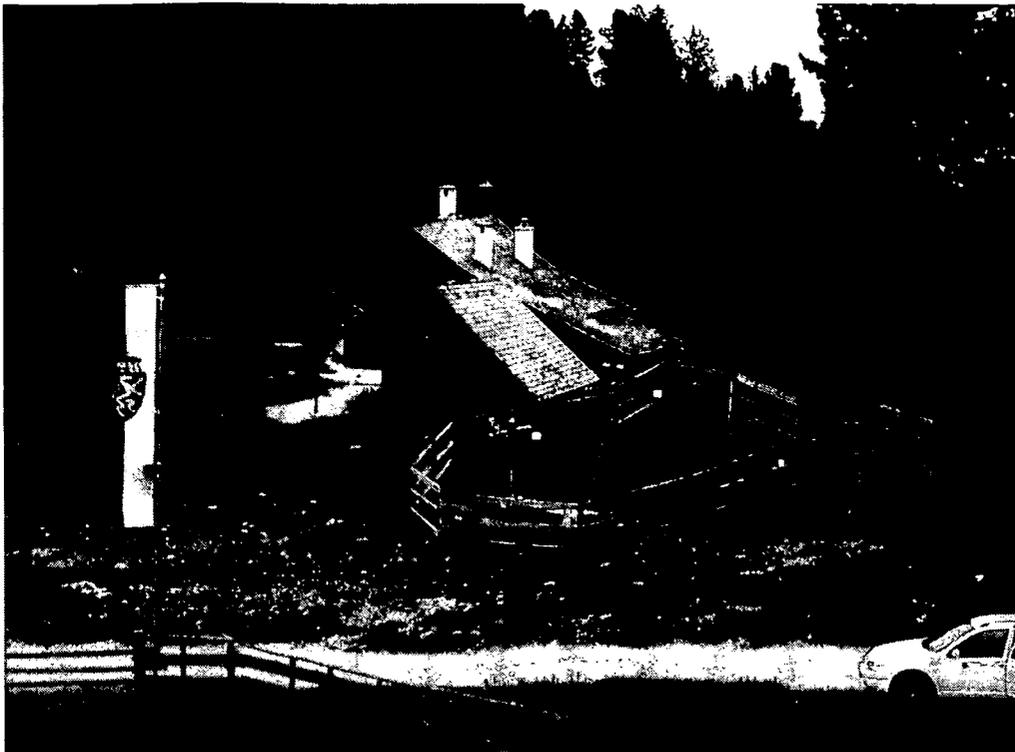


Abbildung 8: Lysimeteranlage am Stoderzinken (HBLFA Raumberg- Gumpenstein)

4 Methoden und Datenerfassung

4.1 Lysimeter

Bei den im Projekt verwendeten Lysimeter in Gumpenstein, welcher in Abbildung 9 ersichtlich ist, handelt es sich um einen Monolithlysimeter mit einer Oberfläche von 1 m² und einer Bodentiefe von 1,5 m. Es wird mit Hilfe von TRASE-Sonden (Buriable Waveguide) der Bodenwassergehalt in Vol.% in den Tiefenstufen 10, 15, 25, 45, 70, 100 und 130 cm Bodentiefe gemessen. Die TRASE-Sonden arbeiten nach dem TDR (Time Domain Reflection) Prinzip und messen freies und undefiniert gebundenes Wasser im Boden. Es wird ebenfalls Sickerwasser in ml aufgefangen. Zusätzlich werden noch in 6 Tiefenstufen (5, 10, 20, 40, 50 und 100 cm) die Bodentemperatur in °C mit Hilfe von Th2 Bodentemperaturfühlern gemessen.

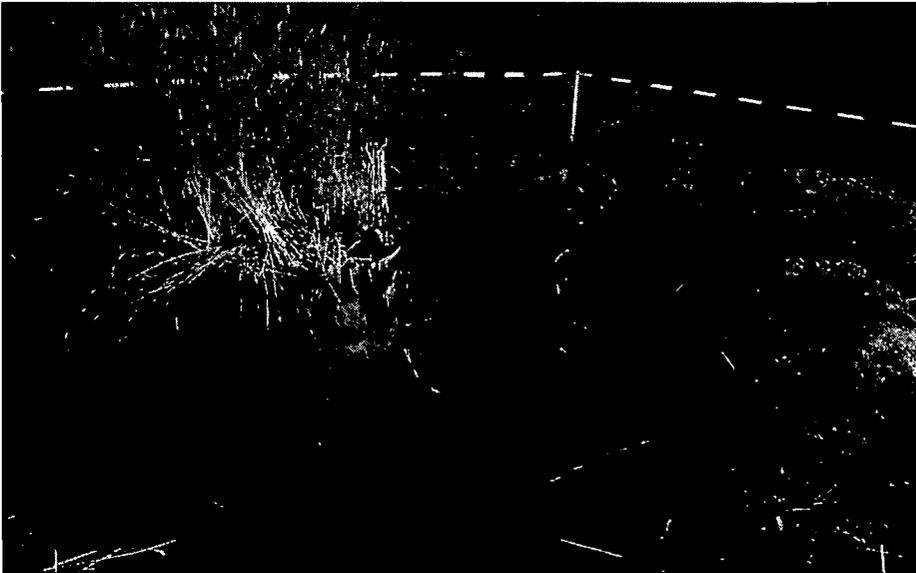


Abbildung 9:Lysimeter am Standort Gumpenstein (HBLFA Raumberg- Gumpenstein)

Die erforderlichen Klimadaten werden von der meteorologischen Station Gumpenstein geliefert. Die Messgrößen Niederschlag, Lufttemperatur (in 5 und 200 cm Bodenhöhe), Relative Luftfeuchtigkeit, Bodentemperaturen (in 2, 5, 10, 20, 30, 50 und 100 cm Bodentie-

fe), Verdunstung, Wassertemperatur in der Verdunstungswanne, Windgeschwindigkeiten über der Verdunstungswanne, Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Sonnenscheindauer, Globalstrahlung, Himmelstrahlung, Strahlungsbilanz, Luftdruck, Schneehöhe und Phänologische Beobachtungen werden ermittelt (SCHINK, 2007).

Der Lysimeter am Stoderzinken, welcher in der Abbildung 10 und in der Abbildung 32 im Anhang zu sehen ist, ist ein monolithischer, wägbarer Lysimeter mit einer Oberfläche von 1 m² und einer Monolithtiefe von 1 m. Es wird der Wassergehalt des Monolithbodens mit Hilfe von einer TRIME EZ-Sonde in einer Bodentiefe von 5 cm und mit TRIME IT-Sonden in einer Bodentiefe von 30, 60 und 90 cm gemessen. Beide Sonden funktionieren nach dem TDR-Prinzip. Auch die Wasserspannung wird mit Hilfe von Tensiometern ermittelt. Dabei wird mit einem SIS- Sensor in 5 cm Bodentiefe und mit Hilfe von T8- Sensoren in Bodentiefen von 30, 60 und 90 cm gemessen. Mit den T8-Sensoren kann gleichzeitig die Bodentemperatur in Tiefen von 30, 60 und 90 cm gemessen werden. Zusätzlich wird noch Sickerwasser aufgefangen.



Abbildung 10: Lysimeter am Standort Stoderzinken (HBLFA Raumberg- Gumpenstein)

Die Klimastation wurde mit 4 RS200 Regensammlern nach Hellmann mit Ständerrohren zur manuellen kumulativen Messung des Niederschlages in 1 m Höhe ausgestattet, sowie mit weiteren Sensoren zur Messung der relativen Feuchte und Windgeschwindigkeit und -richtung in 2 m Höhe. Es wird auch die Globalstrahlung gemessen und die Temperatur in °C in einer Bodentiefe von 5 cm, sowie 5 und 20 und 200 cm über dem Boden. Weiters wurde im Juli 2006 ein spezieller Niederschlagsmesser in 3 m Höhe installiert. Es handelt sich dabei um den OTT Parsivel, ein Laser- optisches Distrometer zur gleichzeitigen Erfassung von Partikelgröße und – geschwindigkeit flüssiger und fester Niederschläge. Aus den Daten lassen sich das Größenspektrum, die Niederschlagsmenge, die äquivalente Radarreflektivität, die Sicht, die kinetische Niederschlagsenergie sowie die Niederschlagsart ableiten (OTT, 2005).

4.2 Datenerfassung und Übertragung

Das Erfassen des Sickerwassers der Lysimeter in Gumpenstein erfolgt mittels „Täglicher Kontrolle“ (Montag–Freitag), die Messung der Sickerwasserzunahme durch Wiegen der Gefäße. Je nach Sickerwassermenge erfolgt normalerweise einmal wöchentlich eine Probenahme für die Wasseranalytik und für eine Isotopenuntersuchung.

Die Datenerfassung der Bodentemperatur und des Wassergehalts im Boden wird im 2-stündigen Intervall mittels Datenlogger durchgeführt. Zur Aufzeichnung der Bodentemperatur wird ein DL2 Logger verwendet; die Datenauslesung erfolgt mit dem Programm DeLogger und die dabei ermittelten Daten werden in Form einer .dat file (binäre Daten) Datei gespeichert und in den zentralen Datenbankserver importiert. Die Datenaufzeichnung des Wassergehaltes im Boden erfolgt durch einen MiniTrase Logger. Die Datenauslesung erfolgt mit dem Programm Wintrase, die Daten werden anschließend als .csv file (Comma separat value) gespeichert und ins EXCEL-Format konvertiert und ebenfalls in den zentralen Datenbankserver importiert (SCHINK, 2007).

Tabelle 19 im Anhang zeigt, in welcher Form die Daten in der zentralen Datenbank gespeichert werden.

Die Sickerwassergewinnung am Stoderzinken erfolgt durch Kippwaagen zur zeit- und mengenmäßigen Erfassung des Sickerwassers. Die Kippung erfolgt bei 100 ml. Das Sickerwasser kommt in einen Sammelbehälter. Die Wasserbeprobung auf dem Stoderzinken

erfolgt in ca. 2-wöchigem Abstand, außer in Perioden starken Niederschlages oder der Schneeschmelze, wo 1- 2mal pro Woche beprobt wird. Auch die Wassermenge der vier Regensammler wird ermittelt und davon wird je eine Probe in einem Sammelbehälter gelagert und ins Labor zusammen mit dem Sickerwasser zur Analyse gebracht. Die Datenerfassung erfolgt mit Hilfe eines Datenloggers (Datataker). Die Aufzeichnungen der Messdaten aus dem Lysimeter und der Klimastation erfolgen in 10-minütigem Abstand. Die Befüllindikatoren für die Tensiometer werden einmal täglich überprüft. Das Auslesen der Daten erfolgt über eine serielle Schnittstelle mit dem Laptop vor Ort, kann aber auch mittels Funkübertragung über ein Telefonmodem direkt vom Büro aus erfolgen (SCHINK, 2007). Die Daten kommen dann ebenfalls in die zentrale Datenbank; ein Auszug der Daten aus der Datenbank wird in Tabelle 18 im Anhang gezeigt.

4.3 Laboranalyse

Im Labor der HBLFA Raumberg- Gumpenstein, Abteilung Umweltökologie werden die Wasserproben der Lysimeteranlagen Gumpenstein und Stoderzinken analysiert. Es werden dabei Regenwasserproben und Sickerwasserproben mit Hilfe der Ionenchromatografie auf folgende Parameter analysiert:

Kationen:

- Kalium (K)
- Calcium (Ca)
- Magnesium (Mg)
- Natrium (Na)
- Ammonium (NH₄)

Anionen:

- Chlorid (Cl)
- Nitrit (NO₂)
- Nitrat (NO₃)
- Sulfat (SO₄)
- Phosphat (PO₄)

Zur Auswertung werden die ermittelten Stickstoff- Ionenformen in Stickstoff- Formen (NO₂-

N, $\text{NO}_3\text{-N}$ und $\text{NH}_4\text{-N}$) umgerechnet. Zusätzlich wird der Phosphorgehalt mit Hilfe eines Photometers ermittelt.

Auch der Gehalt an „Totalem organischen Kohlenstoff“ (TOC) sowie der Gehalt an „Gelöstem organischen Kohlenstoff“ (DOC) wird mit Hilfe eines speziellen Messgerätes, welches nach dem Prinzip der thermokatalytischen Hochtemperaturoxidation in Gegenwart von Spezialkatalysatoren arbeitet, erhoben. Weiters werden der pH-Wert und die elektrische Leitfähigkeit mit Hilfe eines pH-Meters gemessen.

5 Ergebnisse und Interpretation

5.1 Klimadaten

Um den Bodenwassergehalt, die Grundwasserneubildungsrate sowie die Thematik des Sickerwasseranfalls und den Stoffaustrag mit dem Sickerwasser reproduzierbar interpretieren zu können, werden Klimadaten benötigt. In dieser Arbeit werden nur Temperatur- und Niederschlagswerte bearbeitet. Dies ist aufgrund der vorliegenden Fragestellung begrenzt. Bis zum Untersuchungszeitraum gab es auf dem Standort Stoderzinken aufgrund technischer Probleme (Neuinstallation) nur wenig gemessene Niederschlagsdaten. Es mussten somit Niederschlagsdaten mit Hilfe einer Regressionsrechnung, für die man Werte einer auf der Planai, auf derselben Höhenlage und in kurzer Entfernung, befindlichen Niederschlagsmessung verwendet. Abbildung 11 zeigt, dass die Planai sich in unmittelbarer Nähe vom Standort Stoderzinken befindet.



Abbildung 11: Standort Stoderzinken und Ersatzmessstelle Planai (FREYTAG und BERNDT, 2001)

5.1.1 Gumpenstein

In diesem Kapitel werden die Klimadaten zusammengefasst. Aus den Tabellen 4 und 5 wird ersichtlich, dass es im Jahr 2006 deutliche Abweichungen vom langjährigen Durchschnitt gab.

Tabelle 4: Monatsdurchschnittstemperaturen in °C 20 06 bis Juni 2007 im Vergleich zum langjährigen Mittel (1953- 2006); Standort Gumpenstein (ZAMG, 2006)

Monate	Jän	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Temp. (1953- 2006) [°C]	-3,6	-1,4	2,6	6,8	11,7	14,9	17,0	15,9	12,5	7,6	2,0	-2,4
Temp. 2006 [°C]	-8,5	-2,5	0,3	7,5	11,9	15,6	19,0	13,9	14,8	9,2	3,1	-1,5
Temp. 2007 [°C]	1,8	2,6	4,5	11,0	13,3	14,7						

Tabelle 5: Monatsniederschlagssummen in mm 2006 bis Juni 2007 im Vergleich zum langjährigen Mittel (1953- 2006); Standort Gumpenstein (ZAMG, 2006)

Monate	Jän	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Summe
NS (1953-2006) [mm]	60	47	65	61	86	125	153	136	95	75	65	71	1.037
NS 2006 [mm]	15	40	82	41	137	181	70	255	59	94	117	25	1.113
NS 2007 [mm]	128	57	54	12	156	100							

Das Jahr 2006 begann im Vergleich zum langjährigen Durchschnitt sehr kalt und niederschlagsarm. Erst im März kam es zu höheren Niederschlägen, es lag während der gesamten Wintermonate eine 30 bis 50 cm dicke Schneedecke. Ab 11. April war der Standort dann schneefrei. April, Mai und Juni waren temperaturmäßig leicht über dem langjährigen Schnitt. Die Niederschläge lagen im April deutlich unter dem Durchschnitt, dafür im Mai und Juni bis zu 50% darüber. Der Juli 2006 zeichnete sich durch extreme Hitze und Trockenheit aus, während der August deutlich kühler als normal war, aber extrem niederschlagsreich mit fast der doppelten Niederschlagsmenge im Vergleich zum „Durchschnitt“. Der Herbst war auffällig warm und ebenfalls relativ niederschlagsreich, ausgenommen der September. Auch im Dezember lagen die Temperaturen höher als normal und dieser Monat war wieder sehr niederschlagsarm. Es kam nur Anfang November zu leichtem Schneefall. Dieser Schnee hielt sich aber nicht lange und der Standort blieb den ganzen Dezember über vollkommen schneefrei. Dennoch lag die mittlere Jahrestemperatur 2006 mit dem langjährigen Schnitt auf etwa gleicher Höhe, die Niederschlagsmengen 2006 lagen um ca. 7% höher.

Das Jahr 2007 begann auffallend mild. Die Jännerdurchschnittstemperatur lag bei über 0°C. Sie war damit nicht nur bedeutend höher als die Jännertemperatur 2006 (mehr als 10°C), sondern auch um über 5°C höher im Vergleich zum langjährigen Mittel. Die Niederschlags-

menge im Jänner 2007 war allerdings doppelt so hoch wie der langjährige Schnitt und beinahe 10-mal so hoch wie jene des Vorjahres. Anfang Jänner und Februar lagen nur wenige Zentimeter Schnee. Die Temperaturen waren immer noch erhöht im Vergleich mit den vorliegenden Vergleichswerten. Allerdings war die Differenz nicht mehr so stark unterschiedlich und auch die Februar-Niederschläge waren nur mehr leicht erhöht. Die Tendenz setzte sich im März fort, wobei die Niederschläge diesmal niedriger als die beiden Vergleichsmengen waren. Mitte März kam es noch zu kleineren Schneefällen, so dass dann mit ca. 17 cm die höchste Schneedecke des ganzen Winters gemessen wurde, die allerdings schnell schmolz, denn der Standort war bereits Ende März schneefrei. Der April 2007 zeichnete sich durch ungewöhnlich hohe Temperaturen und sehr geringe Niederschläge aus. Auch der Mai war noch wärmer als im langjährigen Schnitt, aber geringfügiger als der April. Auch im Jahr 2007 waren die Niederschläge im Mai gegenüber dem langjährigen Schnitt erhöht. Die Durchschnittstemperatur im Juni 2007 stimmte allerdings gut mit dem langjährigen Schnitt überein und auch die Niederschläge wichen nicht so stark ab.

In den folgenden zwei Abbildungen wird der klimatische Jahresverlauf im Detail gezeigt. In Abbildung 12 ist der Verlauf der Temperaturen, im Jahr 2006, in einer Höhe von 200 und in 5 cm Höhe und in 5 cm Bodentiefe ersichtlich.

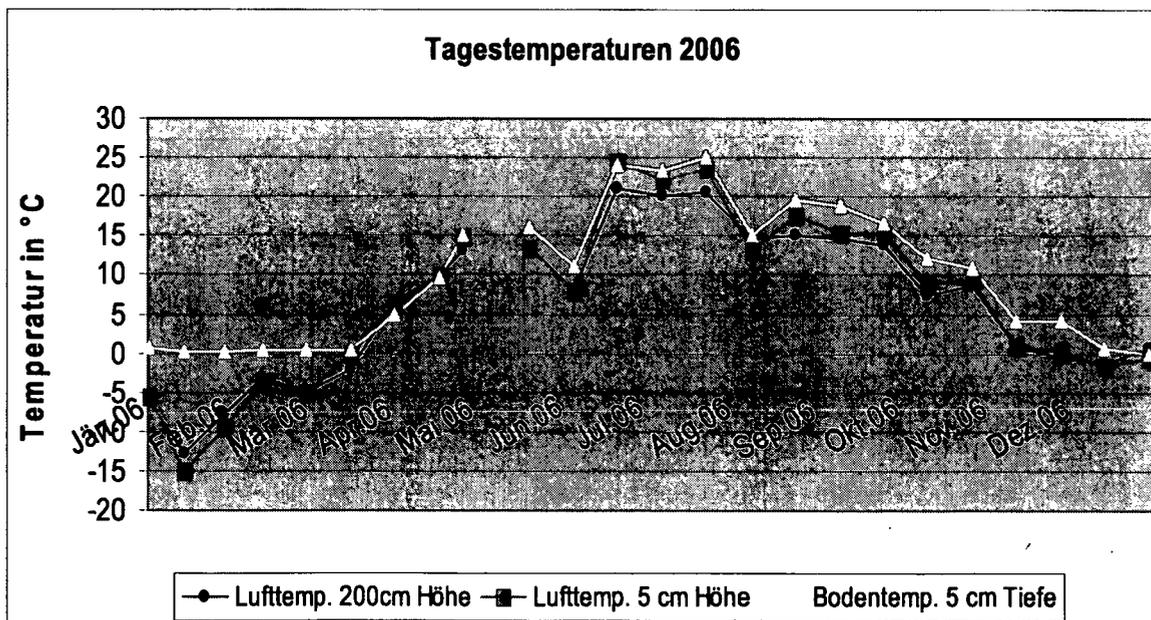


Abbildung 12: Tagesmitteltemperaturverlauf in °C im Jahr 2006; Standort Gumpenstein

Es ist ersichtlich, dass größere Temperaturunterschiede an verschiedenen Messhöhen nur am Anfang des Jahres bis ca. Mitte März vorlagen, danach lagen die Messergebnisse eng beieinander. Während der Messfühler bis Mitte März in 5 cm Bodentiefe konstant 0°C maß, schwankten die Temperaturen über dem Boden sehr stark (zwischen -15 und -3°C), da der Boden rund um die Klimastation den Winter über schneefrei gehalten wurde. Erst Mitte März begann sich zufolge steigender Lufttemperaturen auch der Boden an der Oberfläche langsam zu erwärmen. In weiterer Folge stiegen sowohl die Luft- als auch die Bodentemperaturen stark an. Leider war Ende Mai bis Anfang Juni ein Ausfall des Datenloggers zu verzeichnen, und es fehlen daher einige Messwerte. Im Juni und Juli waren die Durchschnittstemperaturen gemäß der heißen Witterung knapp unter 25°C. Die 3 gemessenen Werte unterschieden sich zu dieser Zeit maximal um 4°C. Auch der weitere Verlauf der 3 Messstellen war sehr homogen, und es kam nur zu geringen Unterschieden in den Messergebnissen auf unterschiedlicher Höhe. Bis Oktober waren die Temperaturen relativ mild, dann kam es zu einem frühen Wintereinbruch Anfang November, wodurch die Lufttemperaturen schlagartig auf 0°C sanken. Die Temperatur in 5 cm Bodentiefe sank etwas langsamer, da sich Temperaturänderungen im Boden zeitverzögert auswirken. Gegen Ende Dezember lagen alle drei Messstellen bei rund 0°C. In Abbildung 13 wird der Niederschlagsverlauf des Jahres 2006 dargestellt und erläutert.

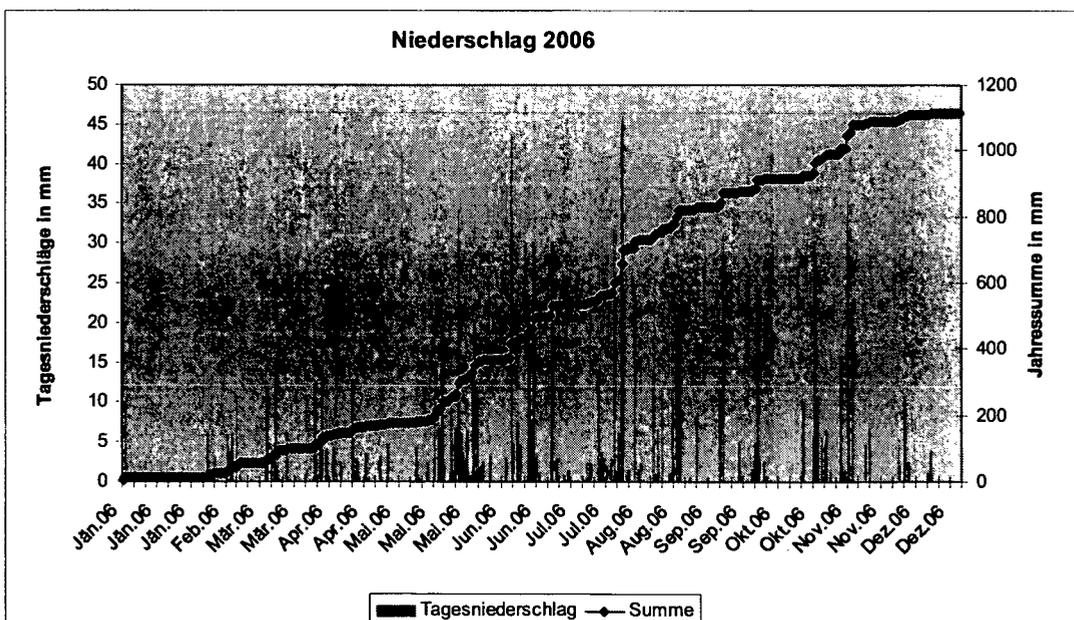


Abbildung 13: Tagesniederschlagssummen und Jahressumme in mm im Jahr 2006; Standort Gumpenstein

Niederschlagsspitzen und Perioden mit wenig Niederschlag werden ersichtlich. Die Tagesniederschlagsmengen betragen 2006 bis zu 46 mm. Hohe Tagesmengen traten vor allem in den Monaten Mai, Juni, Juli, August, September und November auf, während in den Wintermonaten die Tagesmengen an Niederschlag im Allgemeinen eher gering waren. Daraus kann geschlossen werden, dass sich die hohen Niederschlagsmengen in den Monaten Mai, Juni, August, September und November nicht nur auf häufige Niederschläge, sondern auch auf hohe Niederschlagstagesmengen zurückführen lassen.

5.1.2 Stoderzinken

Erst nach der Errichtung der Lysimeteranlage am Stoderzinken im Sommer 2005 konnten Klimadaten ermittelt werden. Somit kann an dieser Stelle kein Vergleich mit langjährigen Daten angestellt werden. Es sind daher nur die Monatsmitteltemperaturen in der Tabelle 6 und die durch die Regression mit der Niederschlagsmessstelle auf der Planai errechneten Niederschlagsdaten in Tabelle 7 angeführt. Aufgrund der unterschiedlichen Höhenlage und geografischen Lage unterscheiden sich die gemessenen Klimadaten am Stoderzinken deutlich von jenen in Gumpenstein. Dennoch muss davon ausgegangen werden, dass es am Stoderzinken im Großen und Ganzen im Jahresverlauf 2006 gleiche Abweichungen vom langjährigen Schnitt in Temperatur- und Niederschlagsverlauf gab wie am Standort Gumpenstein.

Tabelle 6: Monatsdurchschnittstemperaturen in °C im Jahr 2006 bis Juni 2007; Standort Stoderzinken

Monate	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Schnitt
Temp 2006 [°C]	-6,11	-6,7	-4,85	0,78	3,7	7,74	13,02	6,8	10,38	7,01	0,88	0,46	2,7
Temp 2007 [°C]	-2,25	-2,31	-1,9	4,97	6,8	10,17							

Tabelle 7: Mithilfe der Regressionsrechnung errechnete und tatsächlich gemessene Monatsniederschlagssummen in mm im Jahr 2006 bis Juni 2007; Standort Stoderzinken

Monate	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Summe
NS 2006 [mm]	118,9	99,8	126,5	160,5	159,2	198,9	150,8	215,2	96,3	118,4	136,8	80	1661
NS 2007 [mm]	155,2	94	150,4*	7,5*	186,2*	183,6*							

* tatsächlich gemessenen Menge

Die Jahresdurchschnittstemperatur 2006 am Standort Stoderzinken war um 4,2°C niedriger als am Standort Gumpenstein. Dennoch war aufgrund der Invasionslage die Jänner-

Durchschnittstemperatur höher als jene am Standort Gumpenstein. Die Durchschnittstemperatur im Februar lag aber dann erwartungsgemäß unter jener des Standortes Gumpenstein. Die ganzen Wintermonate über war eine geschlossene Schneedecke vorhanden, mit Schneehöhen von 75 bis 230 cm. Erst am 29. Mai war die Schneeschmelze zu Ende und der Standort schneefrei, was zeigt, welche enormen Schneemengen im Winter 2005/06 fielen. Im übrigen Jahr 2006 waren die Temperaturen am Standort Stoderzinken teilweise beträchtlich niedriger als am Standort Gumpenstein, z.B. um bis zu 8°C in den Monaten Mai und Juni. Der Temperaturunterschied wurde aber im Laufe des Jahres 2006 immer geringer, und der Dezember war am Standort Stoderzinken um 0,5°C wärmer als der Standort Gumpenstein.

Leider können, wie in Kapitel 3.2.2 bereits angeführt, in dieser Arbeit noch keine gemessenen Niederschlagsdaten angeführt werden, da die Anlage erst seit kurzem besteht, und erst ab März 2007 Daten des OTT Parsivel zur Verfügung stehen. Daher wurde mit den Parsiveldaten und Daten von der Niederschlagsmessstelle auf der Planai eine Regressionsrechnung erstellt. Es wurde auch noch eine weitere Regressionsrechnung mit dem Niederschlagsmesspunkt Michaelerberg durchgeführt. Diese brachte annähernd das gleiche Ergebnis. Die Interpretation der Niederschlagsdaten ist somit aber mit Vorbehalt zu sehen, da es sich um statistisch errechnete Werte handelt, und somit immer berücksichtigt werden muss, dass es sich bei den Ergebnissen um Werte handelt, die mit der größten Wahrscheinlichkeit auftreten. Alle Regressionsparameter sind der Tabelle 17 im Anhang zu entnehmen.

Die errechneten Niederschläge lagen am Standort Stoderzinken gesamt um 60 % höher als am Standort Gumpenstein. Es muss hervorgehoben werden, dass beinahe in allen Monaten wesentlich höhere Niederschlagssummen zu verzeichnen waren. Lediglich der August bildete eine Ausnahme. Es besteht allerdings die Möglichkeit, dass andere Monate überschätzt wurden, während der August unterschätzt wurde. Im Jahr 2006 kam es Anfang November zu den ersten Schneefällen. Die Schneedecke betrug zu diesem Zeitpunkt bereits ca. 1 m. Es wäre allerdings möglich, dass der Standort Ende November noch einmal kurz schneefrei war. Im Dezember war eine geringe Schneedecke um ca. 50 cm vorhanden.

Bei der Beurteilung der durchschnittlichen Monatstemperaturen geht hervor, dass sich das erste Halbjahr 2007 stark vom Jahr 2006 unterscheidet. Die Durchschnittstemperaturen im Jänner und Februar waren um 4°C höher als im Jahr davor. Daraus resultierten auch die geringeren Schneemengen. Die Schneedecke war im Jänner und Februar nur ca. 70 cm hoch. Im März und Anfang April fiel dann aber doch noch Schnee und es konnte daher eine Schneedeckenhöhe von etwa 1 m verzeichnet werden. Der Trend der warmen Temperatu-

ren setzte sich fort. Mitte Mai war der Standort schneefrei. Auch der Mai und der Juni waren um 3 bzw. 2,5°C wärmer als der Vorjahresdurchschnitt. Die Niederschlagsdaten Jänner und Februar 2007 sind noch das Ergebnis der Regressionsrechnung und weichen nur leicht von den errechneten Vorjahresmengen ab. Ab März arbeitete der OTT Parsivel, die Daten können daher ohne Vorbehalt interpretiert werden. Dabei ist gut zu erkennen, dass die Trockenperiode im April auch in höheren Lagen spürbar war; Mai und Juni 2007 hingegen waren sehr niederschlagsreich.

In Abbildung 14 wird der Temperaturverlauf in 5 cm Bodentiefe [*Tagesmittel_kl_tmp_ly05*], sowie in 5 [*Tagesmittel_kl_tmp_gn05*], 20 [*Tagesmittel_kl_tmp_gn20*] und 200 [*Tagesmittel_kl_rt200*] cm über dem Boden dargestellt.

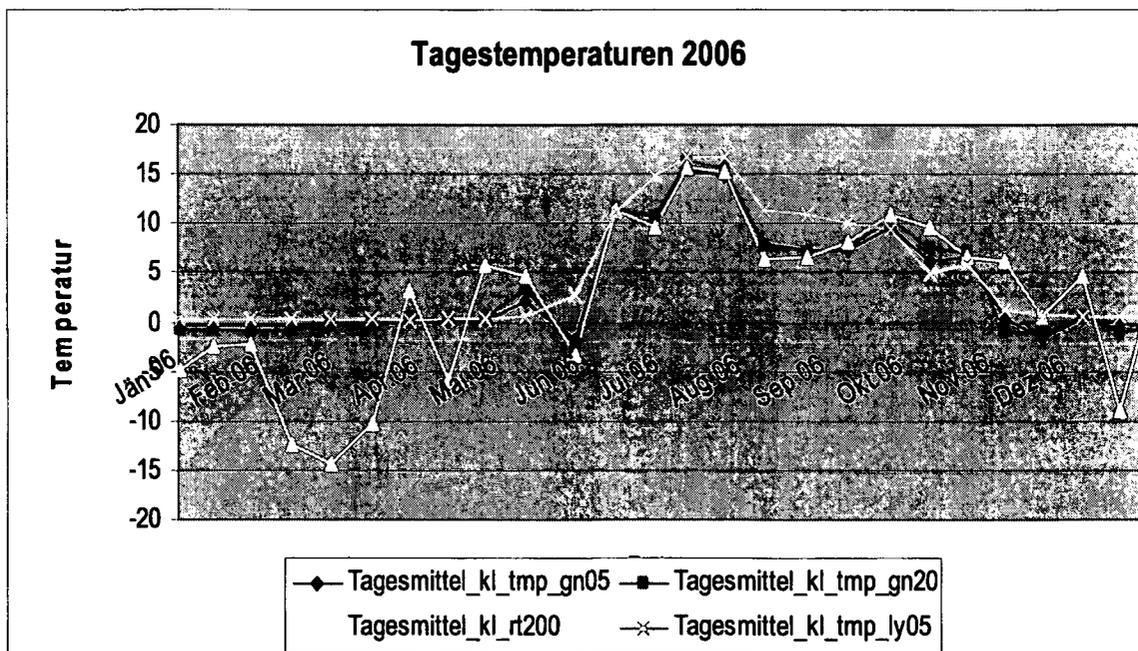


Abbildung 14: Tagesmitteltemperaturverlauf in °C im Jahr 2006; Standort Stoderzinken

Es ist deutlich zu sehen, dass sich von Jahresbeginn bis Anfang Mai nur die Temperatur in 200 cm Höhe über dem Boden veränderte, während die anderen Messungen relativ konstant bei 0°C lagen. Die Ursache dafür ist, dass zu dieser Zeit eine geschlossene Schneedecke vorhanden war, und daher die unteren Messstellen vom Schnee umgeben waren. Die tiefsten Durchschnittstemperaturen lagen bei -14°C. Die Temperaturen in Bodennähe und im Boden stiegen erst im Mai langsam an, da bis Ende Mai eine geschlossene Schneedecke

vorhanden war. Anfang Juni sanken alle drei Lufttemperaturmessstellen auf unter 0°C, lediglich die Temperatur in 5 cm Bodentiefe blieb über 0°C. In weiterer Folge zeigten alle Messpunkte den gleichen Verlauf und in etwa die gleichen Temperaturwerte. Lediglich der Messpunkt in 5 cm Bodentiefe wies meistens höhere Werte auf. Daraus ist ersichtlich, dass die oberste Schicht im Boden sich langsam erwärmte, aber die Wärme gespeichert wurde und somit die Bodentemperatur länger hoch blieb. Es zeigt sich dann ein jahreszeitlicher Verlauf, mit einigen Schwankungen. Anfang November kam es zu einem relativ raschen Abfall der Temperaturen aufgrund des Wintereinbruches. Die Temperatur in 200 cm Höhe folgte etwas zeitverzögert nach und stieg danach zwischenzeitlich wieder auf 5°C an. Weiters war zu beobachten, dass die Messung in 200 cm über dem Boden die größten Schwankungen aufwies, während die anderen drei Messpunkte, die sich in Bodennähe bzw. im Boden befinden, nur geringeren Schwankungen unterlagen. Ab Mitte Juni bis Ende Oktober wiesen aber alle vier Messstellen nur geringe Unterschiede in den ermittelten Werten auf.

In Abbildung 15 werden nun die durch die Regressionsrechnung mit dem Niederschlagsmesspunkt Planai errechneten Niederschlagsmengen dargestellt.

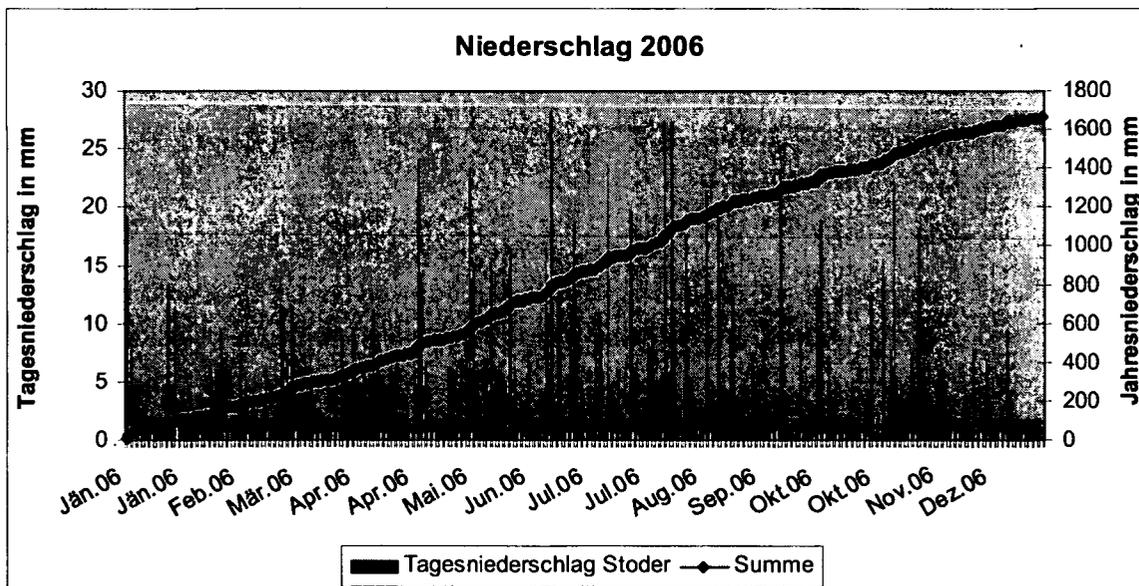


Abbildung 15: Tagesniederschlagssummen und Jahressumme in mm im Jahr 2006; Standort Stoderzinken

Auffällig ist, dass die errechneten Tagesniederschlagsmengen die 28 mm-Grenze nicht überschreiten. Die Messwerte des OTT Parsivel von März bis Juni 2007 zeigen dass die Tagesmengen durchaus höher liegen können. Die höchste gemessene Tagesmenge lag am 19. März 2007 bei 56 mm. Da die Niederschläge anhand einer Regressionsformel berechnet wurden, gab es durch die Berechnung keinen Zeitpunkt, an dem der Tagesniederschlagswert 0 war. Somit kann angenommen werden, dass die Tagesniederschlagsmengen höher liegen, und es dafür aber Tage ohne Niederschlag gibt. Hohe Tagesmengen kamen in den Monaten April, Juni, Juli, August und September vor.

5.2 Bodenwassergehalt

Es soll untersucht werden, ob es an den beiden Standorten zu jahreszeitlichen Unterschieden im Bodenwassergehalt in den verschiedenen Bodentiefen kommt, und ob sich die Bodenwassergehalte in den verschiedenen Tiefenstufen voneinander unterscheiden. Es wurden daher die Daten der verwendeten TDR- Messsonden, von annähernd gleichen Bodentiefen, herangezogen. Weiters wird davon ausgegangen, dass es aufgrund der unterschiedlichen Bodenprofile und Vegetation sowie der Witterung während des Jahres zu Unterschieden im Bodenwassergehalt in den verschiedenen Schichten der beiden Standorte kommt.

5.2.1 Gumpenstein

Abbildung 16 zeigt den Bodenwassergehalt in den Tiefenstufen 10, 15, 25, 45, 70, 100 und 130 cm Bodentiefe im Jahresverlauf 2006.

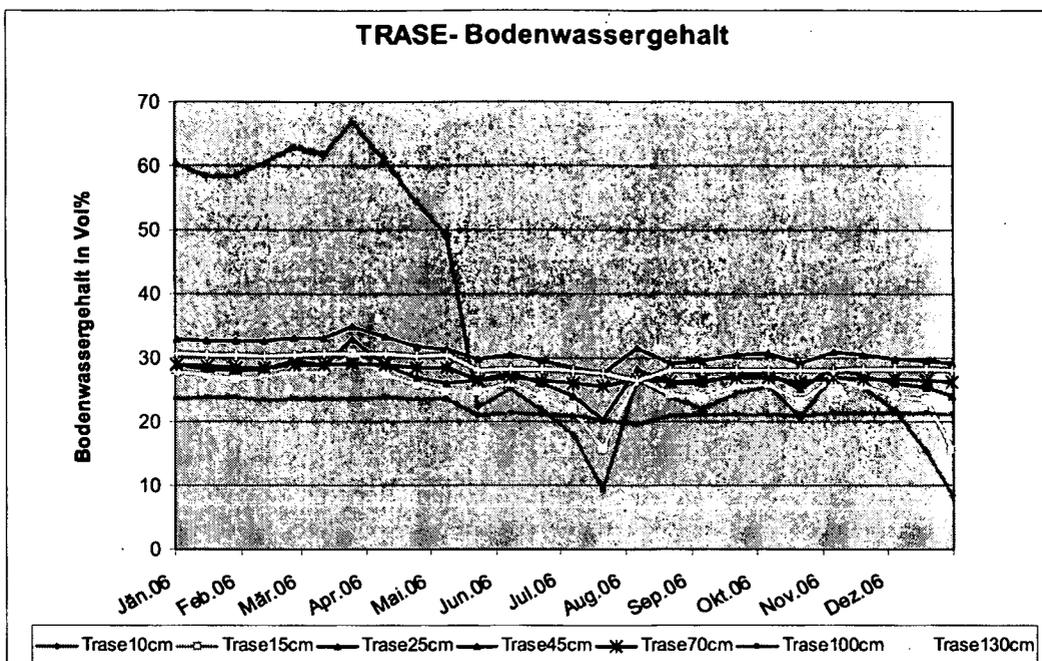


Abbildung 16: Bodenwassergehalt in Vol.% im Jahresverlauf 2006; Standort Gumpenstein

Die Abbildung zeigt, dass nur der Bodenwassergehalt in 10 cm Bodentiefe größeren Schwankungen im Jahresverlauf unterlag, der Verlauf in 15, 25 und 45 cm noch messbare Schwankungen aufwies, während alle anderen Messstufen einen jahreszeitlich relativ unabhängigen Verlauf zeigten.

Bei Beurteilung des Bodenwassergehalts in 10 cm Bodentiefe wird der Zeitpunkt der Schneeschmelze gut ersichtlich, mit einem ansteigenden Verlauf bis Ende April. Der Höchststand lag bei 68%, was bedeutet, dass diese Bodenschicht zu keinem Zeitpunkt vollkommen gesättigt war. Somit wurde nur wenig Wasser in tiefere Schichten abgeleitet. Nach der Schneeschmelze sank der Bodenwassergehalt Ende Juni in 10 cm Tiefe auf circa 22% ab. Daraus ist ersichtlich, dass in dieser Zeit der rasch wachsende Grünlandbestand sehr viel Wasser entzog, denn trotz reichlicher Niederschläge im Mai nahm der Bodenwassergehalt ab. Der Bestand wurde am 14. Juni das erste Mal gemäht. Dieser Monat war sehr niederschlagsreich, woraufhin der Wassergehalt wiederum kurzzeitig leicht anstieg.

Der Gehalt in 10 cm Bodentiefe fiel aufgrund der Trockenheit im Juli und aufgrund des wieder aufwachsenden Grünlandbestandes noch weiter ab, bis Ende Juli der Tiefstand von ca. 10% erreicht wurde. Ende Juli war der zweite Erntetermin. Dadurch und auch aufgrund der hohen Augustniederschläge stieg der Bodenwassergehalt wieder auf circa 27% an. Der

weiterer Verlauf passte sich ebenfalls dem noch einmal aufwachsenden Bestand und dem Niederschlagsverlauf an. So sank der Bodenwassergehalt Mitte September, zu diesem Zeitpunkt erfolgte der 3. Schnitt. Der Bodenwassergehalt nahm danach wieder zu und zeigte noch ein paar niederschlagsbedingte Schwankungen.

Der Verlauf in 15, 25 und 45 cm Bodentiefe stieg während der Schneeschmelze nur geringfügig an, da wenig Wasser von der höheren Schicht abgeleitet wurde. Er passte sich im restlichen Jahr den niederschlags- und vegetationsbedingten Schwankungen des Verlaufs in 10 cm Bodentiefe an. Sie lagen in einem Bereich zwischen 33 und 18%. Die restlichen drei Tiefenstufen zeigten im Jahresverlauf kaum Schwankungen. Die Messwerte variierten jeweils nur um 4%, wobei angenommen werden kann, dass es durch den geringen Abfall dieser Tiefenschichten im Jahresverlauf zur Sickerwasserbildung kommt. Die Bodenwassergehalte aller Tiefenstufen, außer die des Messpunktes in 10 cm Bodentiefe, lagen im Bereich von 20 und 32%. Somit kann festgestellt werden, dass der Grünlandbestand am Standort Gumpenstein dem Oberboden während der Vegetationsperiode sehr viel Wasser entzieht, während der Bodenwassergehalt in den tiefer liegenden Bodenschichten (70 bis 130 cm Tiefe) relativ unabhängig von der Vegetation war.

In Abbildung 17 werden ausgewählte Tiefenstufen zusammen mit Bodentemperaturwerte, der annähernd gleichen Tiefenstufen gezeigt, wodurch der Zeitraum der Schneeschmelze deutlich wird.

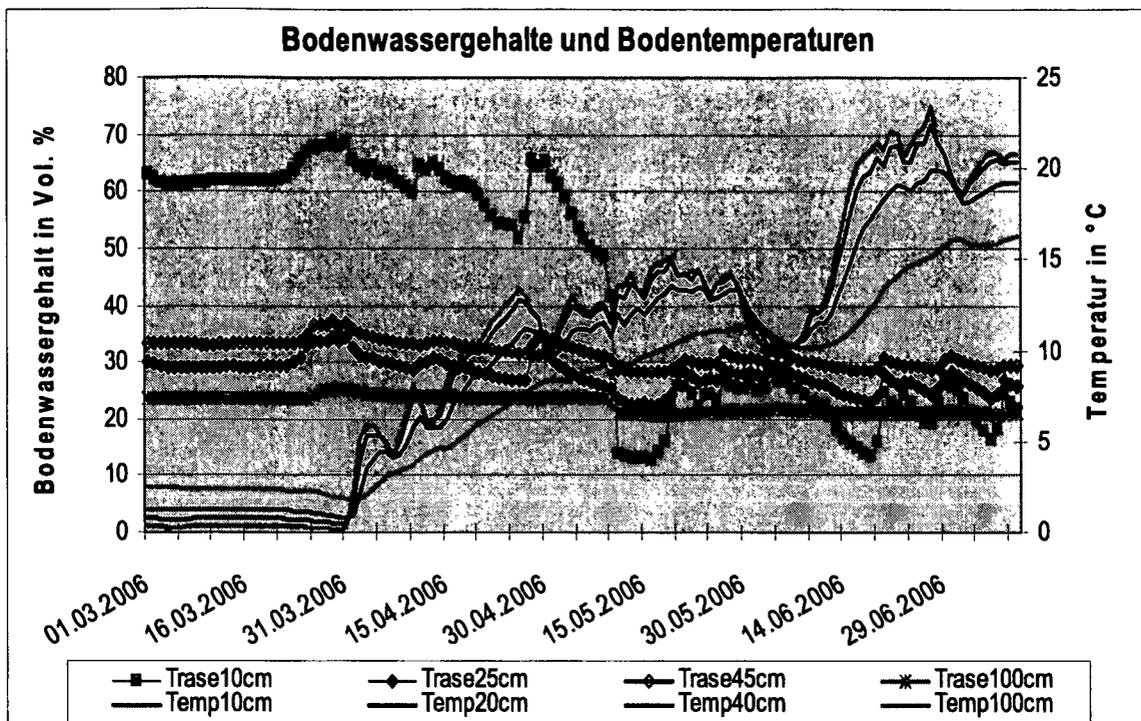


Abbildung 17: Verlauf des Bodenwassergehaltes und der Bodentemperaturen von März bis Juni 2006; Standort Gumpenstein

In der Abbildung kann man sehen, dass sich der Boden erst am Ende der Schneeschmelze langsam erwärmte. Im Winter wies der Boden in 1 m Tiefe mit Temperaturen um 8°C die höchsten Werte auf. Dennoch dauerte es im Frühling länger, bis er sich stärker erwärmte. Außerdem blieb er auch mit lediglich 15°C Anfang Juli hinter den Temperaturen in den oberen Tiefen zurück. Diese lagen zwar am Anfang des Jahres tiefer, unter 5°C, dafür erwärmten sie sich schneller und gleichzeitig, und erreichten auch insgesamt höhere Werte. Die schnelle und hohe Erwärmung wurde durch den relativ niedrigen Bodenwassergehalt in diesen Stufen ermöglicht. So kam es Ende Juni zu Temperaturen von 23°C in 10 cm Bodentiefe und knapp 21°C in 40 cm Tiefe. Die Temperatur in den höheren Bodentiefen ist vom Wassergehalt des Bodens in derselben Tiefe und auch von den Temperaturen in der Atmosphäre abhängig. Die Temperaturschwankungen im oberflächennahen Bereich waren zahlreicher und höher als im Bereich von 1 m Bodentiefe.

Die Bodenwassergehaltsentwicklung wurde vorhin bereits eingehend erläutert, es wird aber auch in dieser Abbildung noch einmal klar, dass der Pflanzenbestand am Standort Gumpenstein, vor allem in der oberen Bodenschichte, enorm viel Wasser entzieht. Der erste

Aufwuchs wies einen großen Einfluss auf den Bodenwassergehalt in den oberen Schichten auf. Abbildung 18 zeigt denselben Verlauf wie Abbildung 17 für das Jahr 2007.

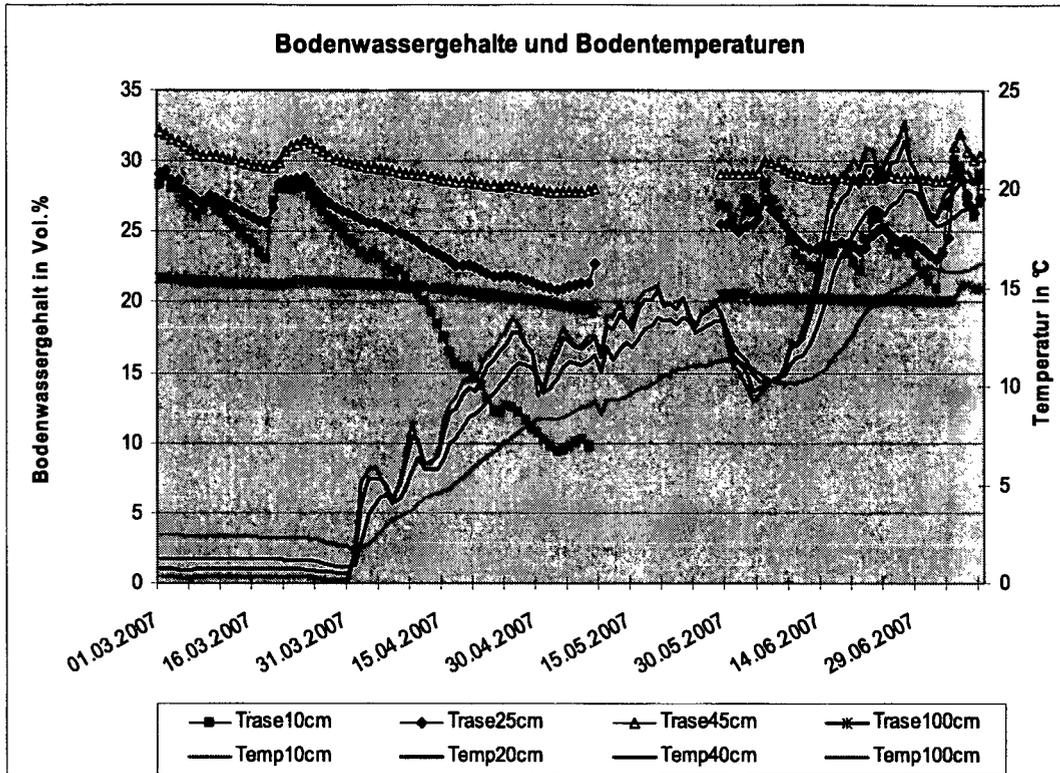


Abbildung 18: Verlauf des Bodenwassergehaltes und der Bodentemperaturen von März bis Juni 2007; Standort Gumpenstein

Die Abbildung zeigt deutlich, dass sich das Jahr 2007 stark vom Vorjahr unterscheidet. Während sich die Bodentemperaturen ähnlich wie im Vorjahr verhielten, gab es bei den Bodenwassergehalten, besonders in der Tiefenstufe 10 cm, extreme Unterschiede zum Vorjahr. Die Bodentemperatur stieg im Frühjahr 2007 aufgrund der kurzen Schneeschmelze früher. Dabei erhöhten sich die Temperaturen in 10, 25 und 45 cm wieder schneller als die Temperatur in 1 m Tiefe. Sie unterlagen aber auch in diesem Jahr größeren Schwankungen. Die Höchsttemperaturen lagen etwa im Bereich des Vorjahres.

Der Wassergehalt in 10 cm Bodentiefe betrug in den Wintermonaten 28% und war damit um mehr als die Hälfte geringer als im Jahr 2006. Mitte März sank der Wassergehalt auf ungefähr 23% und auch während der Schneeschmelze kam es wegen der geringen Schneemenge zu keiner nennenswerten Erhöhung. Danach sank der Wassergehalt in dieser Tiefe

aufgrund der Trockenheit im April und der aufwachsenden Vegetation extrem ab, auf 10%. Leider kam es im Zeitraum 9. bis 29. Mai zu einem Datenloggerausfall, daher kann der Verlauf in diesem Zeitraum nicht nachvollzogen werden. Allerdings stieg in dieser Zeit der Bodenwassergehalt in 10 cm Tiefe wieder auf 26% an, Grund dafür waren die hohen Niederschlagsmengen in den Monaten Mai und Juni. Der Verlauf in 25 cm Tiefe passte sich während der Schneeschmelze gut an den Verlauf in 10 cm Tiefe an. Er sank aber im April zwischenzeitlich auf 20% ab. Auch im Mai und Juni näherte er sich wieder den Gehaltswerten der Messung in 10 cm Bodentiefe an. Der Verlauf in 45 cm Tiefe ergab zum Zeitpunkt der Schneeschmelze nur noch geringe Schwankungen, ebenso im Mai und Juni. In der Bodentiefe von 45 cm lag der Bodenwassergehalt zwischen 28 und 32%, während es in 1 m Tiefe in diesem Zeitraum kaum zu Änderungen kam und die Werte konstant zwischen 21 und 19% lagen.

5.2.2 Stoderzinken

In Abbildung 19 wird der Verlauf des Bodenwassergehaltes in den Tiefenstufen 5 [Tdr_ly005], 30 [Tdr_ly030], 60 [Tdr_ly060] und in 90 cm [Tdr_ly090] während des Jahres 2006 dargestellt.

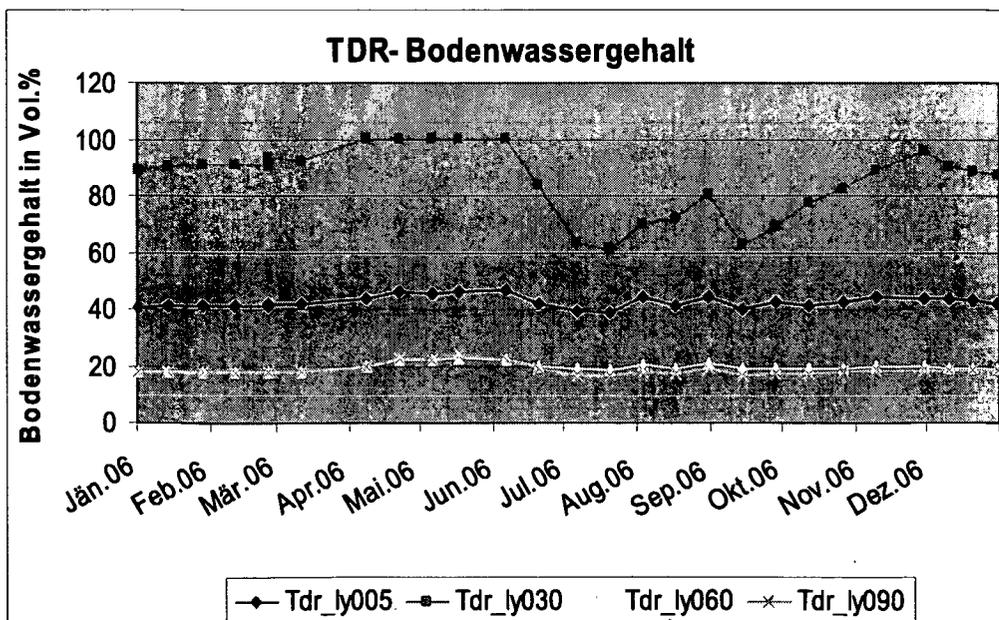


Abbildung 19: Bodenwassergehalt in Vol.% im Jahresverlauf 2006; Standort Stoderzinken

In der Tiefenstufe 30 cm lag ein witterungs- angepasster Bodenwassergehaltsverlauf vor, während dies in den anderen Tiefenstufen am Standort kaum der Fall war und der Bodenwassergehalt dort während des Jahres relativ konstant blieb (siehe Abbildung 19). Dies ist damit zu erklären, dass es am Versuchsstandort im Bereich von rund 30 cm Bodentiefe zum Übergang des B-Horizonts zum C-Horizont kommt, und dadurch das Ende der Hauptwurzelzone erreicht ist. Somit finden gerade in dieser Tiefe viele Prozesse statt. So wird pflanzenverfügbares Wasser im B-Horizont gespeichert und kann in Folge von Pflanzentranspiration und dadurch resultierende kapillare Prozesse wieder in höhere Schichten gelangen. Andererseits wird aber überschüssiges Wasser, das nicht mehr gespeichert werden kann, in den tiefer liegenden C-Horizont abgeleitet. Dort kann dieses Wasser dann nicht mehr in großen Mengen gespeichert werden und wird als Sickerwasser weiter in die Tiefe abgeleitet.

Jeweils zu Jahresbeginn und Jahresende lag in der Tiefe von 30 cm ein Bodenwassergehalt von ca. 85% vor. Dieser Wert stieg mit beginnender Schneeschmelze, die im Jahr 2006 aufgrund des langen Winters erst Mitte März so richtig begann, an, bis er Mitte April die 100% Marke erreichte. Gleichzeitig kam es auch zu einem Anstieg des Bodenwassergehalts in den tieferen Schichten (60 und 90 cm), da die durchwurzelte Schicht gesättigt war und das überschüssige Wasser in die Tiefe abgeleitet werden musste. Der Bodenwassergehalt in 30 cm Tiefe sank Mitte Juni wieder allmählich ab, da das Pflanzenwachstum nach der Schneeschmelze begann und somit von den Pflanzen Wasser zur Transpiration benötigt wurde. Der Monat Juli war sehr niederschlagsarm, Ende Juli lag der Wassergehalt daher nur mehr bei 60%. Er stieg aber bedingt durch hohe Niederschlagsmengen im August und in den nachfolgenden Monaten wieder kontinuierlich zu Jahresende hin an.

Der Verlauf der anderen drei Messstufen zeigte einigermaßen konstante Werte über das Jahr 2006 verteilt. Selbst der Messwert in 5 cm Bodentiefe lag relativ gleichmäßig bei 40% und schwankte im ganzen Jahresverlauf nur sehr gering. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der größte Teil des in den Boden versickernden Wassers, relativ rasch in tiefere Schichten abgeleitet wird. Es wird dann im Bereich von 30 cm Bodentiefe gespeichert, bis dieser gesättigt ist; erst dann kommt es zur Ableitung in noch tiefere Schichten. Diese tieferen Schichten im Bereich 60 und 90 cm Bodentiefe wiesen übers Jahr ebenfalls einen relativ konstanten Bodenwassergehalt um 20% auf. Nur zur Zeit der Schneeschmelze stiegen die Werte leicht an, da der B-Horizont gesättigt war und das überschüssige Wasser somit als Sickerwasser in die Tiefe abgeleitet werden musste. Es wird aber auch deutlich, dass in diesen Tiefenschichten aufgrund des dort befindlichen Kalkschuttmaterials Wasser nicht mehr gespeichert werden kann. Auch während des trockenen Julis sank der Wassergehalt in diesen Tiefen kaum ab.

Abbildung 20 zeigt wie für den Standort Gumpenstein, die Bodenwassergehalte zum Zeitpunkt der Schneeschmelze.

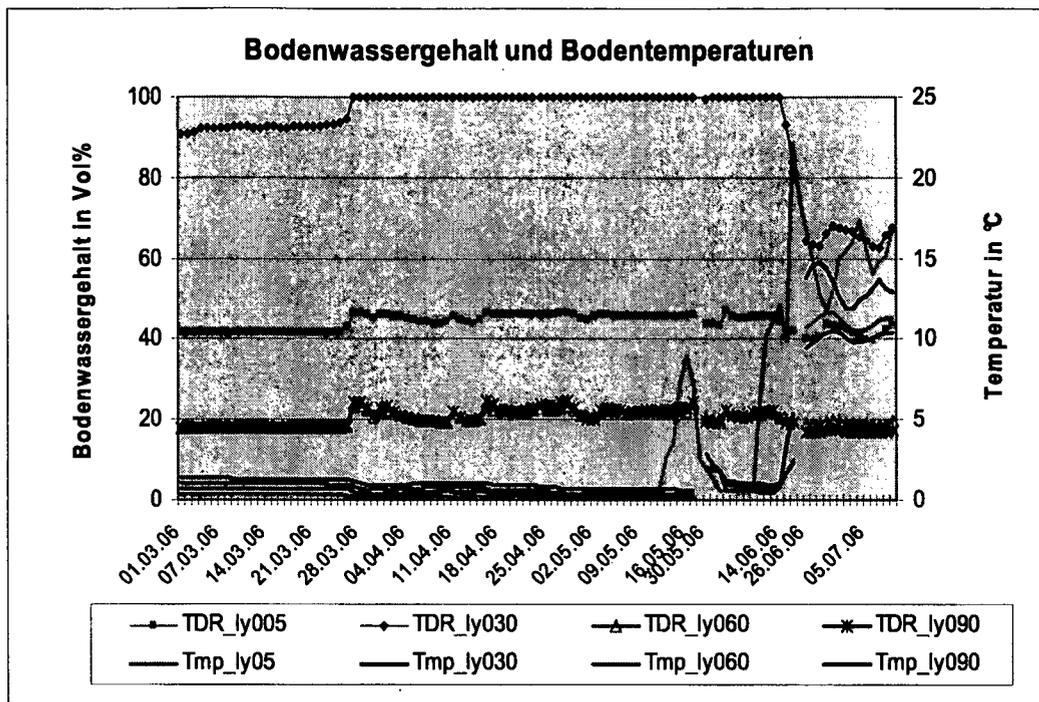


Abbildung 20: Verlauf des Bodenwassergehaltes und der Bodentemperaturen von März bis Juni 2006; Standort Stoderzinken

Der Boden im Frühling 2006 erwärmte sich am Standort Stoderzinken sehr spät, bedingt durch die langandauernde Schneedeckenperiode und die enormen Schneemengen. Aufgrund dessen kam es zu einer späten und lang andauernden Schneeschmelze. Wie am Standort Gumpenstein erwärmte sich der Boden am schnellsten in der obersten Schicht; da dort der Hauptenergieumsatz stattfindet. Es wurde auch das Schmelzwasser rasch in tiefere Schichten abgeleitet, daher stieg der Wassergehalt während der Schneeschmelze nur leicht an. Allerdings schwankte die Bodentemperatur in 5 cm Bodentiefe nach der Schneeschmelze stark, was hauptsächlich durch Veränderungen der Bodenoberflächentemperatur zu erklären ist, und nur zu einem kleinen Teil durch Änderungen im Bodenwassergehalt.

Die Bodentemperaturen in den tieferen Schichten stiegen viel langsamer an. Die Temperatur in 30 cm Bodentiefe stieg erst im Juni, nachdem die Schneeschmelze vorbei war und der Bodenwassergehalt daher wieder zu sinken begann. Ein hoher Bodenwassergehalt lässt nur

eine langsame Erwärmung des Bodens zu. Die Bodentemperaturschwankungen in dieser Tiefe gingen somit deutlich mit den Bodenwassergehaltsänderungen einher. Ende Mai bis Anfang Juni gab es einen Ausfall des Datenloggers, und dadurch fehlen für diese Zeitspanne einige Messwerte. An den beiden tiefsten Messpunkten (60 und 90 cm Tiefe), stieg die Bodentemperatur zum gleichen Zeitpunkt wie in Messpunkt 30 cm. Der Boden erwärmte sich in diesen Schichten nicht mehr so stark, obwohl der Bodenwassergehalt relativ gering und konstant blieb. Abbildung 21 zeigt den Verlauf für das Jahr 2007.

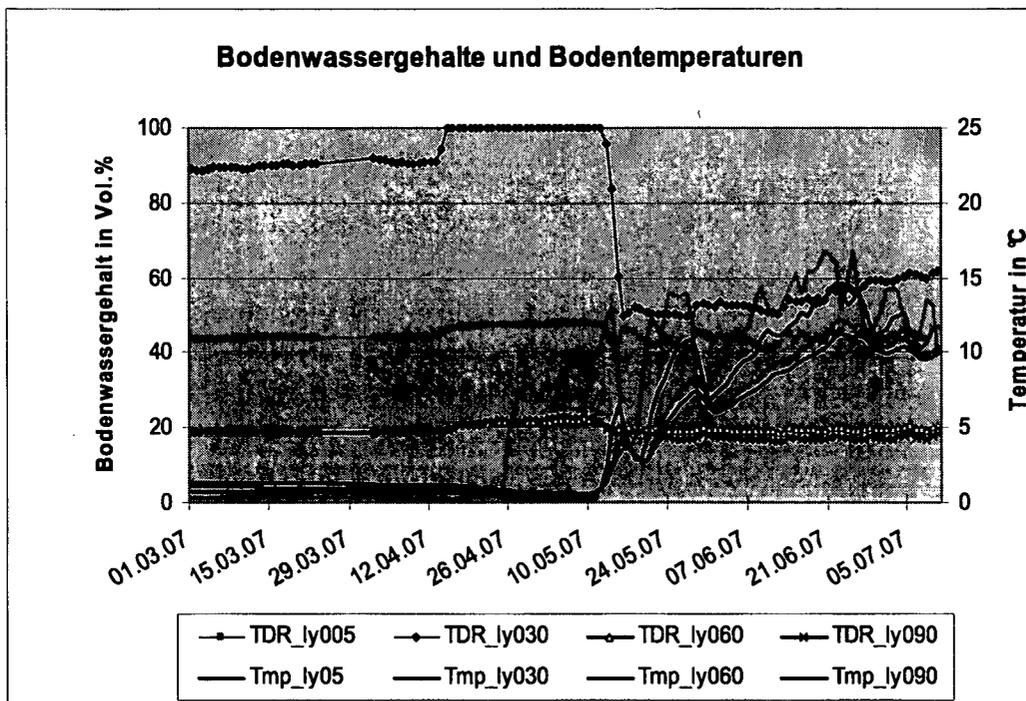


Abbildung 21: Verlauf des Bodenwassergehaltes und der Bodentemperaturen von März bis Juni 2007;
Standort Stoderzinken

Da es sehr viel weniger Schnee als im Jahr zuvor gab, war die Periode der Schneeschmelze 2007 viel kürzer, was am deutlichsten durch den Anstieg des Bodenwassergehaltes in 30 cm Bodentiefe belegbar ist. Auch kam es im Gegensatz zum Vorjahr zu einem stärkeren Abfall des Bodenwassergehaltes in 30 cm Bodentiefe. Die Bodenerwärmung ging wiederum mit dem Ende der Schneeschmelze einher. Am schnellsten erwärmte sich die oberste Bodenschicht. Der Wassergehalt der anderen Messtiefen zeigte auch in diesem Frühjahr einen konstanten, der Schneeschmelze angepassten Verlauf, d.h. die Gehalte in 5, 60 und 90 cm

Bodentiefe nahmen mit der Schneeschmelze kurzfristig ganz leicht zu, fielen aber danach wieder auf den Ausgangspunkt zurück. Dieser lag in der Tiefenstufe von 5 cm bei etwas mehr als 40%, gleich wie im vorangegangenen Jahr, in den Tiefenstufen von 60 und 90 cm bei ca. 20%. Auch im Frühjahr 2007 unterlagen die Wassergehalte in diesen Tiefen daher nur sehr geringen Schwankungen über den untersuchten Zeitraum hinweg. Hier wird nochmals klar, dass die Bodenwassergehaltsschwankungen beinahe ausschließlich von der Schneeschmelze hervorgerufen werden. Nur in der Tiefenstufe von 30 cm kann auch ein deutlicher Einfluss durch Niederschläge und Transpiration des Pflanzenbestandes verzeichnet werden. Bei Vorliegen des Bodenwassergehaltsverlaufes kann relativ gut der Zeitpunkt der Schneeschmelze zurückverfolgt werden.

5.3 Grundwasserneubildungsrate

Wie bereits angeführt, entspricht die Grundwasserneubildung dem Zugang von infiltriertem Wasser durch den Sickerraum des Bodens zum Grundwasser. Sie kann direkt mit dem Einsatz von Lysimetern ermittelt werden, indem die Sickerwasserrate der Grundwasserneubildung gleich gesetzt wird. Dabei muss allerdings berücksichtigt werden, dass die Messung an der Grenze zwischen dem gesättigten und ungesättigten Bereich im Boden erfolgen muss. Diese Methode führt aber nur zu punktuellen Ergebnissen und ein eventuell auftretender Oberflächenabfluss kann nicht berücksichtigt werden.

Da allerdings beide Lysimeteranlagen nicht in der gesättigten Zone des Bodens messen, muss mit Abweichungen gerechnet werden. Diese sind jedoch nicht allzu hoch, da beide Anlagen das Sickerwasser unter der bewurzelten Zone auffangen. Daher kann angenommen werden, dass das Sickerwasser in diesem Bereich nur mehr in einem sehr geringen Umfang kapillaren Kräften unterliegt. Leider kann der Oberflächenabfluss auf beiden Standorten nicht klassifiziert werden. Der Standort am Stoderzinken ist ein Muldenstandort, während der Standort Gumpenstein eine Hangfußlage darstellt. Allerdings sind in der Nähe der beiden Standorte keine extremen Hanglagen zu finden. Es muss aber angenommen werden, dass die Sickerwassermengen am Standort Stoderzinken etwas erhöht sind, da etwaige Abflüsse vom Hang sich dort sammeln und es wahrscheinlich auch durch Schneeverwehungen zur vermehrten Ansammlung von Schnee in der Mulde kommt.

Es wurde auch hier davon ausgegangen, dass es Unterschiede zwischen den beiden Standorten gibt, da der Standort Stoderzinken im Karstgebiet der Nördlichen Kalkalpen liegt, wo es zu relativ hohen Niederschlägen kommt, und die Nutzung der Vegetation aufgrund der Höhenlage sehr extensiv ist.

5.3.1 Gumpenstein

In Abbildung 22 wird die monatliche Sickerwassermenge den monatlichen Niederschlägen gegenübergestellt.

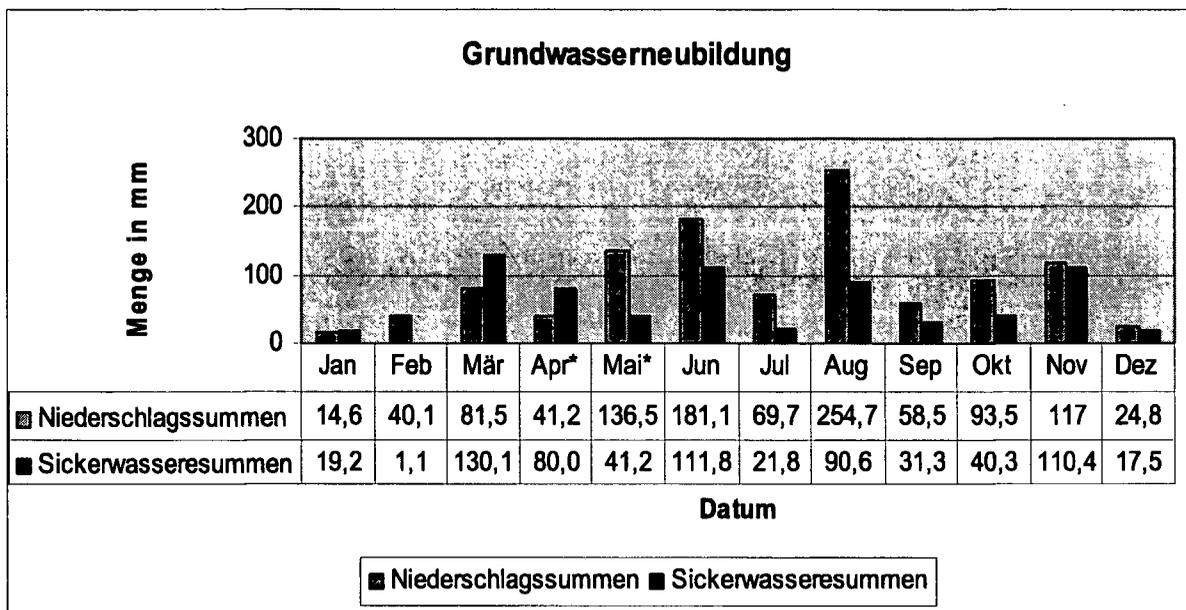


Abbildung 22: Grundwasserneubildung in mm im Jahr 2006; Standort Gumpenstein

Zu Jahresbeginn; also im Jänner und Februar, kam es nur zu geringen Mengen an Sickerwasser, da der Boden gefroren war. Zur Zeit der Schneeschmelze, in den Monaten März und April, waren die Sickerwassermengen erwartungsgemäß hoch mit 130 und 80 mm. Sie lagen damit teilweise sogar höher als die Niederschlagsmenge, denn Schnee fungiert als Wasserspeicher. Die im Schnee gespeicherte Menge an Wasser wird mit dem Wasseräquivalent der Schneedecke (Wasserwert) bewertet. Das ist jener Wert, welcher der Höhe der Wassersäule der geschmolzenen Schneedecke entspricht (Hynek, 2001). Die Werte werden in mm angegeben, wobei 1 mm Wasseräquivalente 1 kg m² entspricht, und liegen im Durchschnitt zwischen 300 und 750 mm (www.meteodat.ch).

Mitte April war die Schneeschmelze abgeschlossen und die Vegetation begann langsam zu wachsen. Somit kam es in den folgenden Monaten zu niedrigeren Sickerwasserraten, da die Transpiration der Pflanzen nun in vollem Gang war. Im Juni war die Sickerwasserrate sehr hoch mit 111 mm, da einerseits die erste Mahd Mitte des Monats erfolgte, und danach

weniger Pflanzenmasse vorhanden war und somit die Transpiration zurückging; und andererseits gab es in diesem Monat hohe Niederschlagsmengen. Im Juli war der Pflanzenbestand wieder gut aufgewachsen und es erfolgte die zweite Mahd am Ende des Monats. Die Niederschlagsmenge war sehr niedrig, daraus resultierte eine geringe Sickerwassermenge von 22 mm. Im August kam es zu ergiebigen Niederschlägen, im Verhältnis dazu gab es überraschenderweise jedoch relativ wenig Sickerwasser mit 91 mm, was zum Teil durch einen Bodenwassergehaltsanstieg in 25 sowie auch in 45 cm Bodentiefe zu erklären ist. Weiters kam es dann im September zu einer höheren Sickerwassermenge als die Niederschlagsmenge war. Es muss davon ausgegangen werden, dass ein Teil des Augustniederschlags zeitverzögert als Sickerwasser im September anfiel. Der Bodenwassergehalt sank zu dieser Zeit in den oberen Bodentiefen. Ende September erfolgte dann auch die 3. Mahd.

Im Oktober kam es dann wiederum zu einer geringen Sickerwassermenge, obwohl es bedeutende Niederschläge gab. Grund dafür war ein Anstieg des Bodenwassergehaltes in der oberen Bodentiefe, bzw. war aufgrund der warmen Temperaturen das Pflanzenwachstum noch relativ hoch und folglich auch die Transpiration. Im November gab es sehr hohe Niederschlagsmengen und die Temperatur sank vor allem am Anfang des Monats, wo es kurzzeitig sogar zu Schneefall und damit zu einem Ende des Pflanzenwachstums kam. Daher entsprach der Sickerwasseranfall von 110 mm annähernd den Niederschlagsmengen. Im Dezember kam es dann auch wieder zu sehr niedrigem Sickerwasseranfall.

Insgesamt betrug die Sickerwassermenge im Jahre 2006 695 mm, was in etwa 62% der Niederschlagsmenge entspricht. Es wird deutlich, dass die höchsten Sickerwassermengen bei der Schneeschmelze und in Perioden mit hohen Niederschlägen vor allem in der vegetationslosen Zeit anfallen. Zu bedenken ist, dass es sich um eine leichte Hangfußlage handelt und daher die Werte eventuell etwas zu niedrig sind.

Anteil des Schmelzwassers an der Grundwasserneubildung im Jahr 2006

Die Schneeschmelze im Jahr 2006 begann Mitte März; am 11. April war der Standort endgültig schneefrei. Es wurde erwartet, dass das Schmelzwasser etwas zeitverzögert durch den Boden sickert, was sich aber aufgrund der Ergebnisse nicht bestätigte. Die Sickerwassermenge zwischen 24. März und 13. April konnten somit relativ eindeutig der Schneeschmelze zugeordnet werden. Die Sickerwassermengen von Jänner bis zum 13. April dienen zur Bemessung des Anteils des Schmelzwassers an der Grundwasserneubildung. In diesem Zeitraum kam es zu einer Grundwasserneubildung von 218 mm, was 31% der gesamten Grundwasserneubildung im Jahr 2006 entsprach. Es muss allerdings beachtet werden, dass

die Schneemengen des ganzen Winters berücksichtigt wurden, und somit ein Teil des Sickerwassers aus dem Schmelzwasser dem Jahr 2005 zuzuordnen ist. Dieser Wert entspricht auch dem Wasseräquivalent der Schneedecke. Daraus ergibt sich ein Wasseräquivalent von 545 mm bezogen auf 1 m Schneedecke ($218/0,4 \text{ m}^2$).

Die Schneemenge ist für die Grundwasserversorgung entscheidend. Es kommt dabei aber nicht nur auf die Schneehöhe, sondern auch auf das Wasseräquivalent der Schneedecke an. Die Wassermenge im Schnee dient beinahe zur Gänze der Grundwasserneubildung, da zu diesem Zeitpunkt noch kein Wachstum vorhanden ist. Ein kleiner Teil des Schmelzwassers dient der Erhöhung des Bodenwassergehalts.

Geschätzte Wasserausnutzungsrate des Grünlandbestandes

Da die Niederschlagsmenge (1113 mm) und Sickerwassermenge (695 mm) und der Ertrag des Grünlandbestandes (72 dt ha^{-1}) gegeben sind, kann eine ungefähre Wasserausnutzungsrate des Grünlandbestandes ermittelt werden, um eine vollständige vereinfachte Wasserbilanz zu erhalten.

Zieht man die Sickerwassermenge (695 mm) von der Gesamtniederschlagsmenge (1113 mm) ab, erhält man 418 mm (1 m^2) die somit dem Pflanzenbestand im Jahr 2006 zur Verfügung standen. Diese Menge dividiert man durch den Ertrag von 72 dt ha^{-1} ($0,73 \text{ kg m}^{-2}$), so ergibt dies eine Wasserausnutzungsrate von 580 l Wasser. Das bedeutet, dass zur Bildung von 1 kg Trockenmasse 580 l Wasser notwendig waren, ohne Berücksichtigung der unproduktiven Transpiration.

5.3.2 Stoderzinken

Es werden die Monatsniederschlagssummen, welche mit der Regressionsrechnung ermittelt wurden, eingesetzt und den Sickerwassersummen gegenübergestellt. Dies ist in Abbildung 23 ersichtlich.

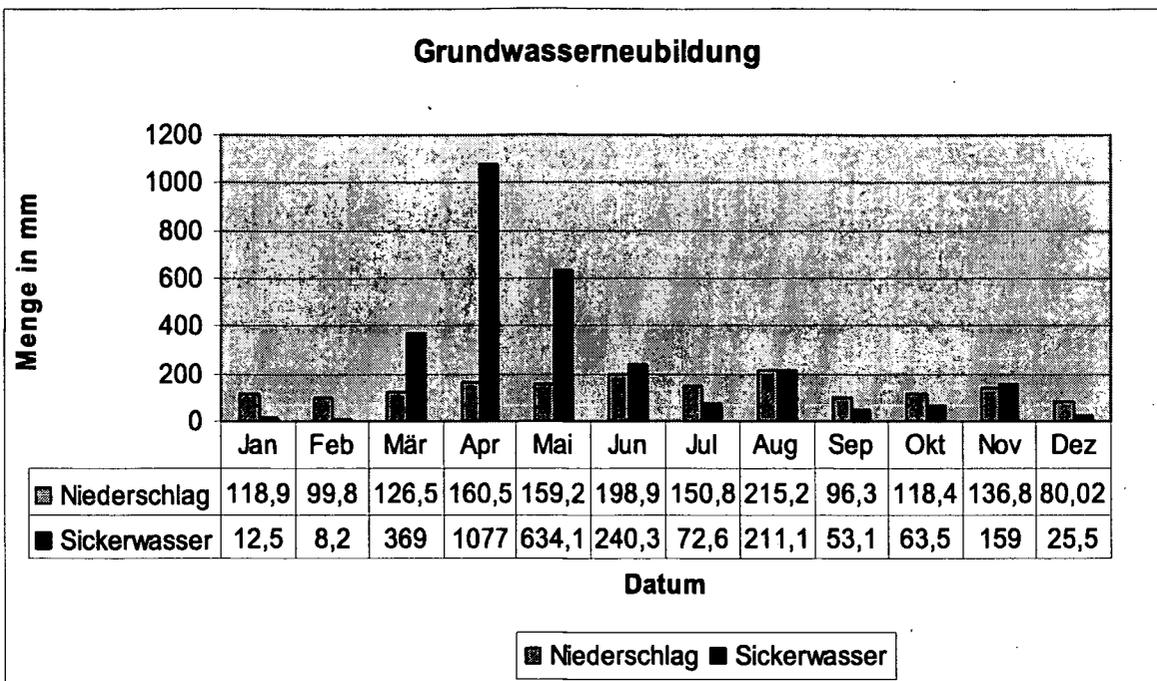


Abbildung 23: Grundwasserneubildung in mm im Jahr 2006; Standort Stoderzinken

Ähnlich wie am Standort Gumpenstein fiel in den ersten 2 Monaten des Jahres 2006 aufgrund des gefrorenen Bodens nur sehr wenig Sickerwasser an. Somit war der Niederschlagseintrag höher als der Sickerwasserabfluss. Im März begann dann die Schneeschmelze und die Sickerwassermenge war folglich mit 369 mm um beinahe das Dreifache höher als der Niederschlagseintrag. In April und Mai 2006 fand schließlich der Höhepunkt der Schneeschmelze statt und die Sickerwassermengen waren dementsprechend hoch mit 1077 und 634 mm. Damit wird an diesem Standort die enorme Bedeutung der Schneedecke für die Grundwasserneubildung noch viel deutlicher als am Standort Gumpenstein. Wie bereits in Kapitel 5.3.1 erläutert, ist im Schnee eine große Wassermenge gespeichert, die in der kurzen Zeit der Schneeschmelze frei wird.

Die Versickerung des Wassers aus der Schneeschmelze zog sich bis Anfang Juni hin, denn die Sickerwassermenge lag mit 240 mm im Juni noch über der Niederschlagsmenge, welche 199 mm betrug. Im Juli kam es zu einer sehr geringen Sickerwassermenge von nur 72 mm. Die Gründe dafür waren ein leichter Anstieg des Bodenwassergehaltes in 30 cm Bodentiefe und die aufwachsende Vegetation, wobei diese im Gegensatz zum Standort Gumpenstein natürlich eine viel geringere Wassermenge aufgrund des viel niedriger liegenden Ertrages benötigte. Am 11. August erfolgte die Mahd und somit fiel der Bedarf für die Vegetationsde-

cke wieder ab. Außerdem stieg der Bodenwassergehalt in 30 cm an und es wurde wahrscheinlich die Niederschlagsmenge für den Monat August durch die Regressionsrechnung unterschätzt, da sie beinahe identisch mit der Sickerwassermenge ist. Aufgrund des Verbrauchs der Vegetation und der Zunahme des Bodenwassergehalts in 30 cm Bodentiefe wird eine etwas größere Differenz zwischen Niederschlagsmenge und Sickerwassermenge erwartet. Im September stieg die Temperatur dann nochmals an, der Pflanzenbestand konnte wieder aufwachsen und benötigte daher mehr Wasser, was auch im Rückgang des Bodenwassergehaltes in 30 cm Bodentiefe zu sehen ist. Folglich fiel weniger Sickerwasser an, nur 53 mm. Im September wurde der niedrigste Wert während dieser Vegetationsperiode gemessen.

Ab Ende September stieg der Bodenwassergehalt in 30 cm Bodentiefe wieder deutlich an, daher sickerte im Oktober nur etwa die Hälfte der Niederschlagsmenge durch den Boden. Im November war die Sickerwassermenge mit 159 mm geringfügig höher im Vergleich zur Niederschlagsmenge mit 136 mm. Dennoch stieg der Bodenwassergehalt in 30 cm Bodentiefe weiterhin an, dies kann aber durch die Schmelzung eines Teiles der Schneemenge, die Anfang November gefallen ist, verursacht worden sein. Im Dezember fiel die Sickerwassermenge aufgrund des gefrorenen Bodens auf 25 mm ab.

Insgesamt betrug die Sickerwassermenge im Jahr 2006 2925 mm, dies entspricht mehr als dem Vierfachen der Jahressickerwassermenge am Standort Gumpenstein. Somit wird deutlich, welche enorme Bedeutung Gebirgsstandorte für das Grundwasser und folglich auch für die Trinkwasserversorgung haben. Während die Grundwasserneubildung am Standort Gumpenstein hauptsächlich zur Zeit der Schneeschmelze und zu Zeiten geringen Wachstums stattfand, wurden am Standort Stoderzinken beinahe das ganze Jahr beträchtliche Mengen an Sickerwasser gebildet. Gründe dafür sind die hohe Niederschlagsmenge, die geringe Mächtigkeit des Bodens und die damit verbundene geringere Speicherkapazität von Wasser im Boden, sowie die spärlichere Vegetation, welche weniger Wasser benötigte als jene am Standort Gumpenstein.

Anteil des Schneeswassers an der Grundwasserneubildung

Die Schneeschmelze begann im Jahr 2006 im März und dauerte bis Ende Mai an, wobei das Schmelzwasser bis Anfang Juni durch den Boden sickerte. Daher wird davon ausgegangen, dass von Jänner bis zum 6. Juni das Sickerwasser der Schneeschmelze zuzuordnen ist.

Damit ergibt sich eine Menge von 2125 mm Sickerwasser aus der Schneeschmelze, das sind 72% der Gesamtmenge. Würde man das Sickerwasser der Schneeschmelze nicht mitberücksichtigen, ergäbe sich eine jährliche Sickerwassermenge von nur 800 mm, dies wäre

annähernd die Hälfte des Niederschlags. Somit würde die Sickerwasserrate annähernd gleich liegen wie am Standort Gumpenstein ohne Berücksichtigung der Sickerwasserbildung aus der Schneeschmelze.

Am Standort Stoderzinken ergibt sich somit ein Wasseräquivalent der Schneedecke von 2125 mm. Rechnet man diesen auf 1 m³ um, so bekommt man einen Wert von 924 mm (2125 mm/2,3 m Schneehöhe), was beinahe dem Doppelten des Wasseräquivalenten vom Standort Gumpenstein entspricht. Daraus kann man schließen, dass nicht nur hohe Schneemengen vorhanden waren, sondern der Schnee in diesem Winter auch sehr dicht war und hohe Wassermengen enthielt.

5.4 Stoffflüsse im Boden

Es soll zunächst untersucht werden, in welchen Mengen Nährstoffe in den Boden eingetragen wurden, welche durchschnittlichen Nährstoffkonzentrationen im Sickerwasser daraus resultierten, wie hoch die jährliche Sickerwassermenge auf beiden Standorten war und welche Mengen an Nährstoffen insgesamt mit dem Sickerwasser im Laufe des Jahres ausgewaschen wurden. Es wird erwartet, dass sich aufgrund der unterschiedlichen Standorte sowie der unterschiedlichen Bewirtschaftung große Unterschiede zwischen den Standorten ergeben.

5.4.1 Nährstoffeintrag

Wie bereits in Kapitel 2.3 angeführt, gibt es mehrere Eintragswege für Nährstoffe in den Boden. Es gibt Nährstoffe, die nativ in den Muttergesteinen vorkommen. Auf den angeführten Versuchsstandorten sind dies große Mengen an Calcium und Magnesium. Sie werden von den Pflanzen allerdings nur in geringen Mengen aufgenommen. Im Gestein können auch Schwefel in Gipsstein, Kalium in Feldspäten, Glimmern und Illiten in beträchtlichen Mengen vorhanden sein. In geringen Mengen kommen auch Natrium und Chlor im Boden nativ vor (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 2002).

Ein Eintrag von Nährstoffen erfolgt natürlich überwiegend über die Düngung. Dabei ist zu beachten, dass Düngemittel sich oft aus verschiedenen Stoffen zusammensetzen und daher nicht nur der vorrangig gedüngte Stoff in den Boden kommt, sondern auch andere Stoffe. So besteht das am Standort Gumpenstein eingesetzte Düngemittel Patentkali zu über 50% aus Kaliumsulfat sowie zu über 30% aus Magnesiumsulfat-Monohydrat. Durch die Düngung mit

Patenkali wird auch eine beträchtliche Menge an Sulfat in den Boden eingebracht. Dies ergibt jährlich eine ungefähre Menge von 155 kg Schwefel, die über die Düngung auf die Versuchsfläche gebracht werden.

Eine weitere Eintragsquelle für Nährstoffe in den Boden ist die „Nasse und die Trockene Deposition“. Unter der „Nassen Deposition“ sind Niederschläge aller Art zu verstehen. Niederschläge verbinden sich oft mit Stoffen in der Atmosphäre, daher ist die „Nasse Deposition“ eine nicht zu unterschätzende Nährstoffquelle, wie aus Tabelle 8 und auch aus Tabelle 9 hervorgeht.

Tabelle 8: Nährstoffkonzentrationen im Niederschlag; Standort Stoderzinken 2006

Datum	mg l ⁻¹										µg l ⁻¹
	NH ₄	NO ₂	NO ₃	K	Ca	Cl	Na	Mg	SO ₄	DOC *	P
05.05.2006	0,30	0,02	0,98	0,12	0,42	0,10	0,11	0,04	0,42	2,69	2,69
16.06.2006	1,32	0,02	1,60	0,24	1,18	0,14	0,14	0,07	0,87	3,25	3,25
08.08.2006	0,49	0,04	1,12	0,12	0,84	0,09	0,17	0,11	0,33	5,04	5,04
04.09.2006	0,96	0,03	0,94	0,09	19,79	0,10	0,06	0,18	0,35	2,19	2,19

* DOC = Dissolved organic carbon

Die ermittelten Konzentrationen am Standort Stoderzinken sind als relativ gering einzustufen, lediglich die Calcium-Konzentration ist erhöht. Dies ist damit zu begründen, dass gleich neben der Lysimeterstation eine Schotterzufahrtsstraße verläuft und es somit zu Einträgen von Calciumstaub dieser Straße kommt. Wenn man aber Nährstoffkonzentrationen aus dem Niederschlag mit Niederschlagsmengen multipliziert, so ergibt sich eine nicht zu unterschätzende Eintragsquelle, was auch aus Tabelle 9 hervorgeht.

Tabelle 9: Jährliche Stoffeinträge (kg ha⁻¹) mit den Niederschlägen an der HBLFA Raumberg- Gumpenstein (HBLFA Raumberg- Gumpenstein)

Jahr	NS	kg ha ⁻¹								
	mm	N _{anorg} *	P	K	Ca	Mg	Na	Cl	S	TC
2002	1371	10,4	0,4	2,5	37,4	5,6	1,8	--	--	--
2003	862	7,3	0,2	1,4	25	3,4	1,5	1,2	--	--
2004	1090	18	0,4	1,1	42,6	0,6	1,3	2,3	3,5	15,2
2005	1199	10,3	0,3	2,9	38,3	0,5	1,8	2,3	3	32
2006	1113	12,6	0,1	1,4	35,4	0,8	1,7	2,3	2,9	13,1

* N_{anorg} = NH₄- N + NO₃- N; NS = Jahres- Niederschlag in mm; TC = gesamter Kohlenstoff, NS = Jahresniederschlagsmenge

Die hohen Calcium- und Magnesiumeinträge kommen auch am Standort Gumpenstein aufgrund von Staubverlagerungen der umliegenden Zufahrtsstraßen und Feldwege zustande (BOHNER, EDER und SCHINK, 2007). Somit sind die Calcium- und Magnesiumeintragsmengen mit dem Niederschlag normalerweise niedriger. Es zeigt sich, dass im Schnitt 12 kg Stickstoff über Niederschläge in den Boden kommen, ebenso nur ganz geringe Mengen an Phosphor, während die Mengen an Kalium, Natrium und Chlor im Schnitt bei circa 2 kg liegen. Die Menge an Schwefel lag im Schnitt bei etwas über 3 kg, Gesamtkohlenstoff wurde im Jahr 2005 mit einer Gesamtmenge von 32 kg eingetragen.

Eine weitere Eintragsmöglichkeit von Nährstoffen ist die „Trockene Deposition“, dabei werden Nährstoffe aus Gasen und Aerosolen der Luft in den Boden eingetragen. Zusätzlich können unter anderem Knöllchenbakterien Luftstickstoff binden, in der Größenordnung von ca. 1 bis 5 kg Stickstoff pro Prozent Leguminosenanteil. Böden sind auch in der Lage schwefelhaltige Verbindungen, wie etwa Schwefeldioxid, Schwefelwasserstoff und Methylmercaptan direkt aus der Luft zu binden. Diese Mengen können teilweise höher als der Schwefeleintrag mit dem Dünger sein (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 2002).

5.4.2 Nährstoffkonzentrationen im Sickerwasser an beiden Standorten

Die Nährstoffkonzentrationen im Sickerwasser an beiden Standorten sollen miteinander verglichen werden. Grundlage sind die durchschnittlichen Jahreskonzentrationen. Zusätzlich wurde auch der Gehalt des Sickerwassers an gelöstem organisch gebundenem Kohlenstoff (DOC) ermittelt und einbezogen. Tabelle 10 zeigt die Ergebnisse.

Tabelle 10: Jahres Durchschnitts- Stoffkonzentrationen in mg l⁻¹ im Sickerwasser an den Standorten Gumpenstein und Stoderzinken im Jahr 2006

Standort	Jahr	mg l ⁻¹										
		PO ₄	NO ₂	NO ₃	NH ₄	K	Na	Ca	Mg	Cl	SO ₄	DOC*
Gumpenstein	2006	0,00	0,01	4,31	0,02	0,11	1,29	34,60	5,45	0,64	76,12	4,95
Stoderzinken	2006	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,29	0,07	0,00	0,02	0,00

* DOC = Dissolved organic carbon

Auffällig ist, dass die Nährstoffkonzentrationen im Sickerwasser im Jahresschnitt insgesamt sehr niedrig waren und bei keinem der untersuchten Stoffe der Schwellenwert der Grundwasserswellenwertverordnung (siehe Tabelle 14 im Anhang) erreicht wurde. Dies ergab sich nicht nur im Jahresschnitt, sondern auch für alle Einzelanalysenwerte.

Am Standort Gumpenstein waren die Konzentrationen aufgrund der etwas intensiveren Bewirtschaftung im Vergleich zum Standort Stoderzinken etwas höher. Dennoch kam es zu keinen nennenswert hohen Nährstoffkonzentrationen im Sickerwasser. Lediglich die Nährstoffe Calcium und Sulfat wiesen höhere Konzentrationen auf. Am Standort Stoderzinken waren die Konzentrationen der Nährstoffe im Sickerwasser sehr gering.

Normalerweise liegen die DOC-Konzentrationen im Grundwasser im Bereich von 2-3mg l⁻¹, im Sickerwasser am Standort Gumpenstein lag sie bei 4,95 mg. Es besteht aber die Möglichkeit, dass sich der Gehalt bis zum Eintrag des Sickerwassers in das Grundwasser noch reduziert. Der DOC entspricht dem gelösten organisch gebundenen Kohlenstoff. Zusammen mit dem ungelösten organisch gebundenen (POC) und dem flüchtig organisch gebunden Kohlenstoff (VOC) ergibt sich die Menge an organisch gebundenem Gesamtkohlenstoff (TOC) (www.gantschnigg.net/paludarium/chemie-lexikon.html). Der DOC stellt ein Gemisch aus verschiedenen Substanzen dar, er kommt im Boden zu einem kleinen Teil aus Wurzelexsudaten und zum größten Teil aus der Bodensubstanz selber. Somit besteht er hauptsächlich aus höhermolekularen Verbindungen wie Huminstoffen. Der größte Teil des DOC im Sickerwasser stammt aus den höheren Bodenschichten, sein Gehalt hängt stark von den geologischen Gegebenheiten und der Jahres- und sogar Tageszeit ab (STEINBEISS, 2006). Er ist ein Maß für das Denitrifikationspotential des Bodens, denn er stellt den denitrifikationslimitierenden Faktor dar. Durch Denitrifikationsvorgänge in der ungesättigten Bodenzone wird die Nitrat- Auswaschung minimiert (BOHNER, EDER und SCHINK, 2007).

5.4.3 Sickerwassermengen und Nährstoffaustragsmengen am Standort Gumpenstein

In Abbildung 24 sind die Sickerwassermengen des Jahres 2006 noch einmal als Quartalswerte dargestellt. Die Sickerwassermenge ist der wichtigste Einflussfaktor der Nährstoffauswaschungsmengen. Steigt die Sickerwassermenge an, so steigt im Normalfall auch die Menge an Nährstoffen, die ausgewaschen werden. Es wurde versucht, die Mengen den Anfallszeitpunkten genau zuzurechnen, wodurch eine grobe Monatsabgrenzung möglich war.

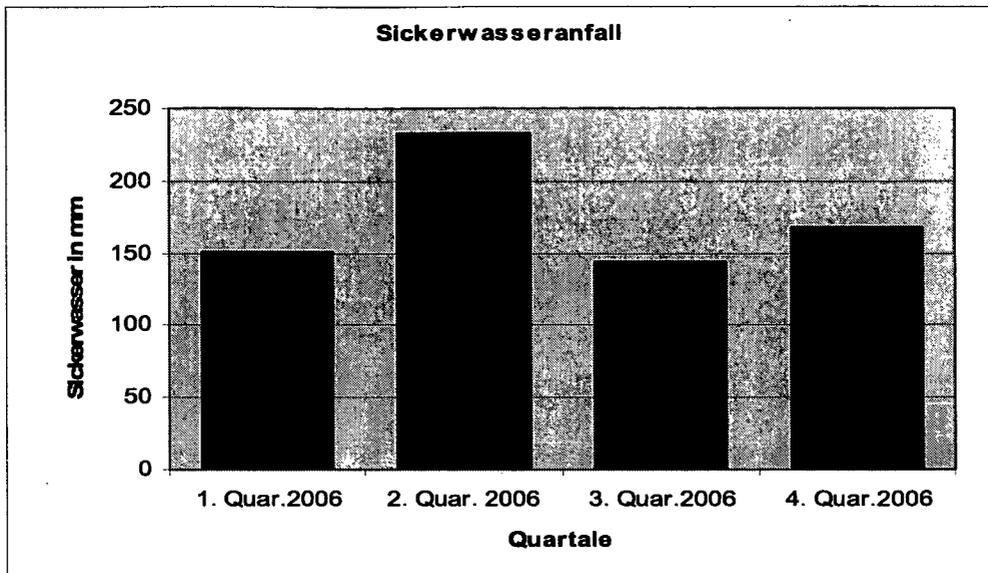


Abbildung 24: Quartals- Sickerwassermengen in mm im Jahr 2006; Standort Gumpenstein

Der hohe Sickerwasseranfall von 150 mm im 1. Quartal 2006 wurde beinahe ausschließlich bedingt durch die hohe Sickerwassermenge im März, welche aufgrund der Schneeschmelze so hoch ausfiel. Es wird deutlich, dass es im Jahr 2006 vor allem im 2. Quartal 2006, also in den Monaten April, Mai und Juni, zum höchsten Sickerwasseranfall mit 233 mm kam. Die Ursache hierfür ist, dass Anfang April die Schneeschmelze noch in vollem Gange war, während im Juni die Niederschlagsmenge sehr hoch ausfiel. Im 3. Quartal 2006 lag die Menge bei 143 mm, wobei diese Menge vor allem durch die ergiebigen Niederschläge im August bedingt ist. Da die 2. Mahd am 31. Juli stattfand, war der geerntete Pflanzenbestand kaum in der Lage, das Wasser dieser Niederschläge zu nutzen. Im 4. Quartal 2006 waren die Sickerwassermengen bei 168 mm, da der Oktober und November relativ niederschlagsreich waren und die Vegetation zu dieser Zeit kaum mehr Wasser benötigte. In Summe war die Sickerwassermenge mit 695 mm im Jahr 2006 sehr hoch.

Die Sickerwassersummen des 1. und 2. Quartals im Jahre 2007 sind in Abbildung 25 ersichtlich.

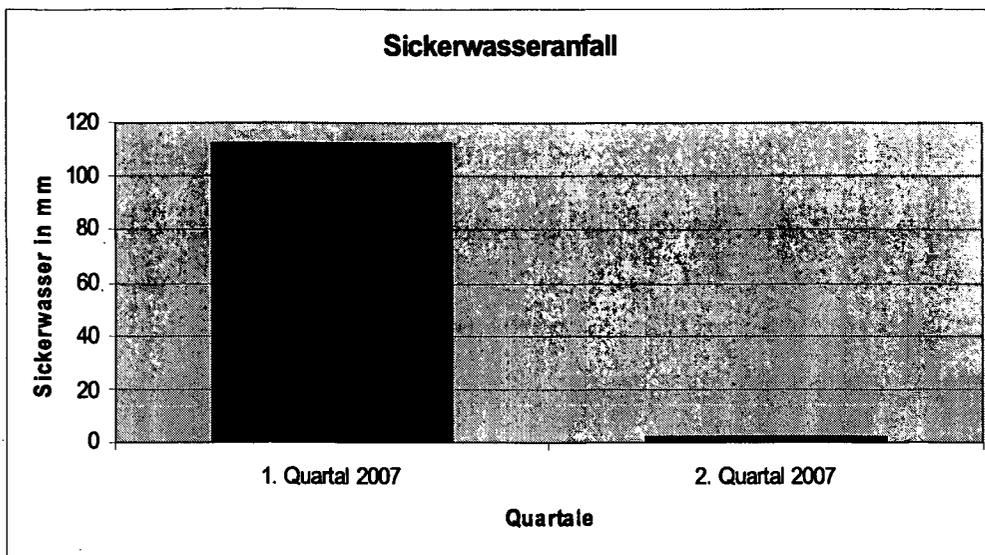


Abbildung 25: Sickerwassermengen in mm im 1. und 2. Quartal 2007; Standort Gumpenstein

Im ersten Halbjahr 2007 kam es im Vergleich zum Vorjahr zu deutlichen Unterschieden bei den Sickerwassermengen. Während die Menge im 1. Quartal mit 112 mm noch annähernd gleich wie im Vorjahr war, gab es im 2. Quartal, wo im Jahr 2006 die höchste Sickerwassermenge des Jahres mit 232 mm auftrat, aufgrund der geringen Schneemenge und aufgrund der lang anhaltenden Trockenheit im Frühjahr nur eine Sickerwassermenge von knapp 3 mm. Es kann mit Sicherheit angenommen werden, dass das wenige Niederschlagswasser und der Teil des Wassers, der von der Schneeschmelze noch im Boden gespeichert wurde, beinahe ausschließlich für das Pflanzenwachstum verbraucht wurden. Dabei kam es aber auch, wie in Abbildung 17 zu erkennen ist, zu einem massiven Rückgang des Bodenwassergehaltes in den oberen Bodenschichten (zwischen 15 und 25 cm Bodentiefe), aus welchen der Pflanzenbestand den größten Teil seines Wasserbedarfs entzieht. Zu diesem Zeitpunkt ergibt sich somit eine stark negative Wasserbilanz.

In Abbildung 26 werden die einzelnen Nährstoffmengen, die im Jahre 2006 mit dem Sickerwasser ausgetragen wurden, aufgezeigt.

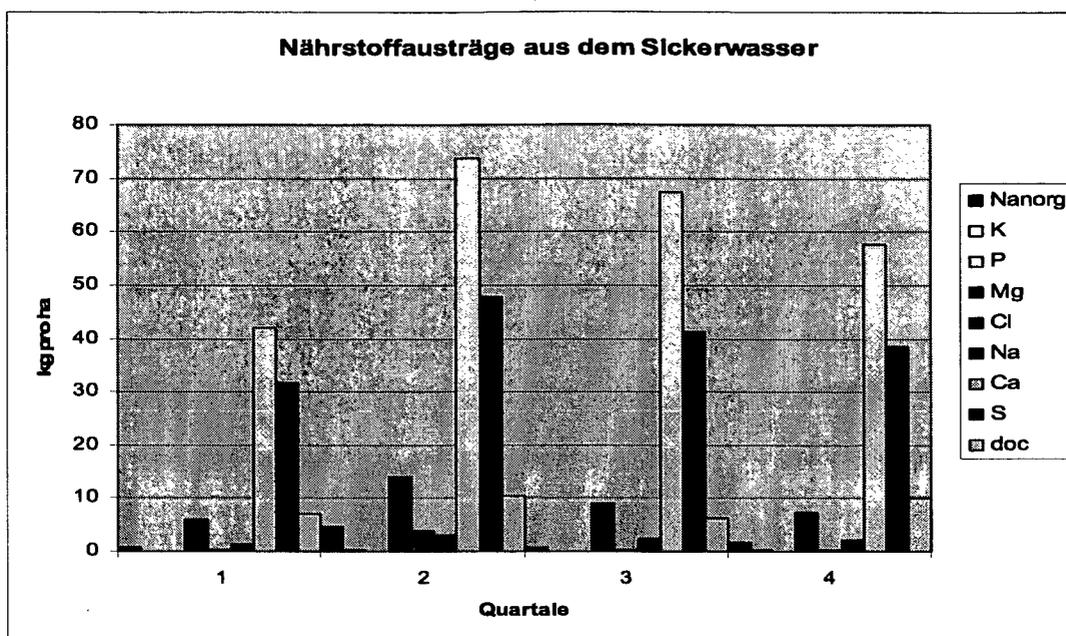


Abbildung 26: Quartals- Nährstoffaustrag in kg ha^{-1} mit dem Sickerwasser im Jahr 2006; Standort Gumpenstein

Es zeigt sich, dass die ausgewaschenen Mengen der einzelnen Nährstoffe sehr stark variierten. So wurde übers Jahr eine beträchtliche Menge an Calcium, nämlich 240 kg, ausgewaschen, sowie auch relativ viel Schwefel mit 159 kg, während die anderen Nährstoffe in geringeren Größenordnungen mit dem Sickerwasser ausgetragen wurden. Die hohen Mengen an Sulfat resultierten beinahe vollständig aus dem Dünger (ca. 155 kg Schwefel aus Patentkali), aus den Einträgen aus der Atmosphäre und aus dem Niederschlag, welche bei circa 3 kg im Jahr liegen, was aus Tabelle 9 hervorgeht. Pflanzen benötigen Schwefel jedoch nur in sehr geringen Mengen, somit kam es zu keinem nennenswerten Entzug durch die Vegetation und es konnten große Mengen ausgewaschen werden.

Die hohen Calcium-Mengen resultierten einerseits aus der Düngung mit Hyperphosphat, das in etwa zu 45% aus CaO besteht, somit werden circa 89 kg Ca übers Jahr eingetragen. Es kommt auch Calcium aus dem BaCl_2 - austauschbaren Calcium-Vorrat im Grünlandboden. Pflanzen nehmen außerdem nur sehr wenig Calcium auf es erfolgt eine ständige Calcium-Aktivierung im Grünlandboden durch Säurepufferreaktionen (BOHNER, EDER und SCHINK, 2007).

Auch Magnesium, Chlor und Natrium werden von Pflanzen nur in geringen Mengen aufgenommen. Da der Oberboden am Standort ausreichend mit Magnesium versorgt ist, wird

dieser Nährstoff, wenn er mobilisiert wird, größtenteils ausgewaschen, wodurch eine Jahresmenge von 36 kg zustande kommt. Auch Chlor und Natrium kommen aus dem Ausgangsgestein, allerdings in geringeren Mengen. Beide sind sehr leicht löslich und werden somit ebenfalls leicht ausgewaschen. Am Standort Gumpenstein wurden im gesamten Jahr 2006 4,27 kg Chlor und 8,98 kg Natrium ausgewaschen.

Die wichtigsten Pflanzennährstoffe, welche auch in etwas höheren Mengen von den Pflanzen aufgenommen werden, sind Stickstoff, Phosphor und Kalium. Der mengenmäßig am stärksten ausgewaschene Nährstoff war Stickstoff. Es wurde 2006 7,6 kg anorganischer Stickstoff ausgewaschen, dafür hauptsächlich verantwortlich war Nitrat- Stickstoff. Dennoch wurde in keinem Quartal der Grundwasserswellenwert von 45 mg Nitrat l⁻¹ erreicht. Die ausgewaschenen Mengen sind somit nicht besorgniserregend und es muss angeführt werden, dass es keine Stickstoffdüngung gab. Somit kam der ausgewaschene Stickstoff allein von der Mineralisierung und aus dem übrigen Eintrag. Auch die Kaliumauswaschung war mit weniger als 1 kg im gesamten Jahr sehr gering; noch geringer war die Phosphorauswaschung mit 0,08 kg im ganzen Jahr, trotz ausreichender Versorgung des Bodens und Düngung mit Phosphor, der im Boden extrem immobiles Verhalten zeigt.

Die Auswaschungsmengen hingen natürlich von den Sickerwassermengen ab, so passten sich vor allem Schwefel und Calcium gut dem jahreszeitlichen Verlauf der Sickerwassermenge an. Es war festzustellen, dass es im 2. Quartal, in dem auch die Sickerwassermenge am höchsten war, zu den höchsten Auswaschungsmengen aller Nährstoffe kam. Anzuführen ist, dass beide Düngungszeitpunkte in dieses Quartal fielen, wobei dies allerdings nur für die Schwefel- und Calciumauswaschung eine größere Rolle gespielt haben dürfte, während die Nährstoffe Phosphor und Kalium dennoch nur geringfügig höher ausgewaschen wurden. Während der Vegetationszeit kam es zu den geringsten Auswaschungsmengen. Dies zeigt ganz deutlich, dass die Menge der ausgewaschenen Nährstoffe im Sickerwasser bis zu einem bestimmten Grad von der Sickerwassermenge abhängig ist. Dennoch kann nicht von einem linearen Verlauf gesprochen werden.

Für die Arbeit wurde das 1. Quartal im Jahr 2007 wurde noch berücksichtigt, in Abbildung 27 werden diese Werte aufgezeigt.

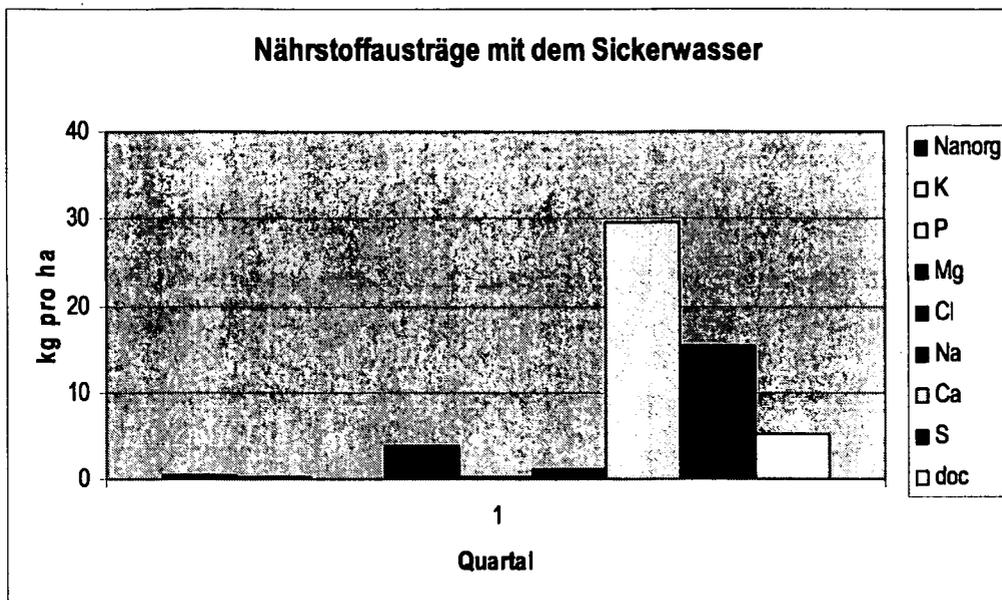


Abbildung 27: Nährstoffausträge in kg ha⁻¹ mit dem Sickerwasser im 1. Quartal 2007; Standort Gumpenstein

Es konnte im Jahr 2007 nur mehr das erste Quartal untersucht werden, da aufgrund von Umbaumaßnahmen das Labor der HBLFA Raumberg-Gumpenstein kurzzeitig stillgelegt werden musste. Der Nährstoffaustrag mit dem Sickerwasser im 1. Quartal 2007 unterschied sich vom Nährstoffaustrag des 1. Quartals 2006. Die Sickerwassermenge lag bei 112 mm, während im Vorjahr eine etwas höhere Menge mit 150 mm gemessen wurde, daher sind die niedrigeren Mengen an ausgewaschenen Nährstoffen im Vergleich mit dem 1. Quartal 2006 erklärbar. Die Menge an Schwefel war mit 15,33 kg um die Hälfte niedriger als im Vergleichszeitraum des Vorjahres. Die Calcium- Mengen lagen ebenfalls um mehr als 10 kg niedriger, ebenso lagen alle übrigen Elementmengen lagen ebenfalls leicht unter den Gehaltswerten des Vorjahres.

In Tabelle 11 sind die Werte zur Verdeutlichung aufgelistet.

Tabelle 11: Sickerwassermengen in mm und Nährstoffausträge in kg ha⁻¹ mit dem Sickerwasser im Jahr 2006 und im 1. Quartal 2007; Standort Gumpenstein

	mm		kg ha ⁻¹							
	SW	N _{anorg} *	K	P	Mg	Cl	Na	Ca	S	DOC
1. Quar. 2006	150,45	0,79	0,13	0,02	5,92	0,18	1,49	42,02	31,67	7,02
2. Quar. 2006	232,90	4,58	0,33	0,01	13,92	3,70	3,01	73,61	47,71	10,36
3. Quar. 2006	143,76	0,69	0,14	0,04	9,00	0,19	2,43	67,54	41,34	6,25
4. Quar. 2006	168,19	1,60	0,15	0,02	7,46	0,19	2,05	57,53	38,41	10,01
Summe 2006	695,29	7,67	0,74	0,08	36,30	4,27	8,98	240,70	159,13	33,63
1. Quar. 2007	111,95	0,40	0,12	0,01	3,74	0,16	1,06	29,63	15,33	5,30

* N_{anorg} = NH₄⁻ N + NO₂⁻ N + NO₃⁻ N; SW = Sickerwassermenge in mm; doc = dissolved organic carbon,

5.4.4 Sickerwassermengen und Nährstoffaustragsmengen am Standort Stoderzinken

Auch für den Stoderzinken werden in Abbildung 28 und in Abbildung 29 die Quartals-Sickerwassermenge im Jahr 2006 und die von den ersten Quartalen 2007 gezeigt. Da die Gesamtsickerwassermenge 2006 am Standort Gumpenstein bereits festgestellt wurde und sich die Sickerwassermengen dort in den zwei Jahren sehr unterscheiden, wird dies auch am Stoderzinken erwartet. Es wurde daher eine Monatsabgrenzung der Sickerwassermengen und auch der Nährstoffe durchgeführt. Somit ergeben sich genaue Quartalswerte.

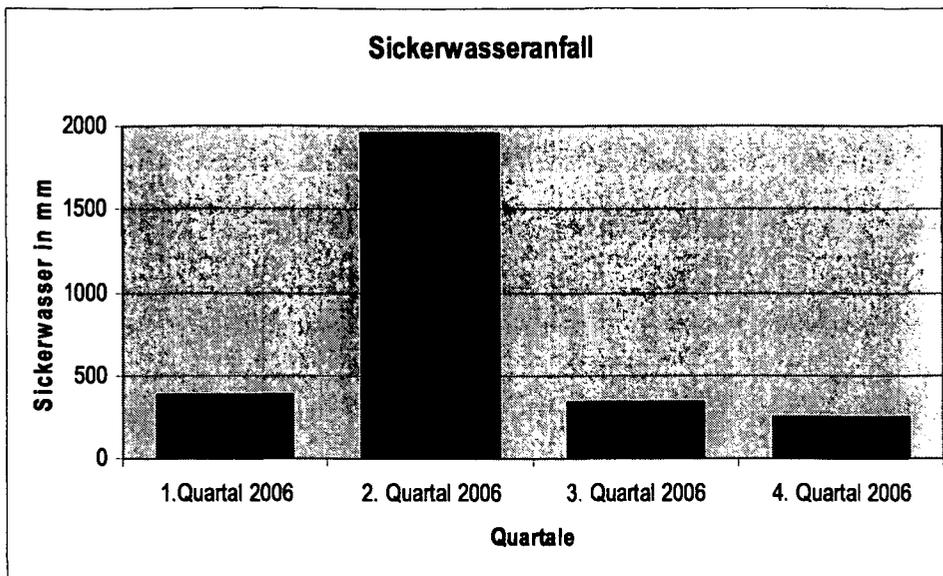


Abbildung 28: Quartals- Sickerwassermengen in mm im Jahr 2006; Standort Stoderzinken

Während in Gumpenstein die höchste Quartals-Sickerwassermenge im 2. Quartal 2006 bei 179 mm lag, betrug diese im gleichen Zeitraum am Stoderzinken fast 2000 mm, also mehr als das 10fache. Daraus wird bereits deutlich, dass die enormen Schneemengen an diesem Standort einen extrem hohen Einfluss auf den Sickerwasseranfall haben, denn auch am Stoderzinken fand zum Zeitpunkt des 2. Quartals die Schneeschmelze statt.

Der jahreszeitliche Sickerwasserverlauf war aber dennoch sehr ähnlich wie in Gumpenstein, bedingt durch den recht gleichmäßigen Verlauf in den restlichen 3 Quartalen mit 389 mm (1. Quartal), 336 mm (2. Quartal) und 248 mm (4. Quartal). Insgesamt betrug die Sickerwassermenge 2006 am Standort Stoderzinken 2925 mm.

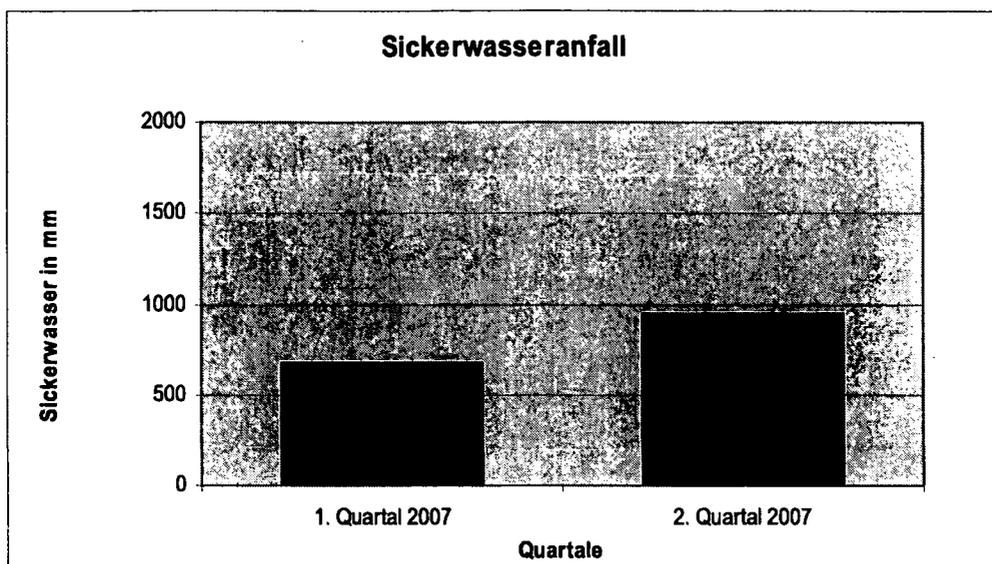


Abbildung 29: Sickerwassermengen in mm im 1. und 2. Quartal 2007; Standort Stoderzinken

Im Jahr 2007 gab es auch am Standort Stoderzinken bereits im ersten Halbjahr enorme Unterschiede zum Jahr 2006. In den ersten zwei Quartalen kam es 2007 nur zu einer Sickerwassermenge von 1629 mm, während im gleichen Zeitraum 2006 bereits 2340 mm Sickerwasser anfielen. Der hohe Unterschied kann damit erklärt werden, dass der Winter 2005/06 überdurchschnittlich schneereich war im Gegensatz zum Winter 2006/07. Im 1. Quartal 2007 kam es zu einer Sickerwassermenge von 681 mm und im 2. Quartal zu einer Menge von 947 mm. Die Sickerwassermenge in 1. Quartal war damit beinahe doppelt so hoch wie im Jahr davor. Ursache dafür ist, dass die Tagestemperaturen im 1. Quartal immer wieder über 0°C lagen und es daher wohl immer wieder zu Schneeschmelzprozessen kam. Aufgrund der geringen Schneemengen kam es im 2. Quartal 2007 in dem die Hauptschneeschmelze stattfand, nur zu einer Hälfte der Sickerwassermenge im Vergleich zum Vorjahr.

Die Abbildung 30 und Abbildung 31 zeigen, dass es nicht nur bei der Sickerwassermenge, sondern auch bei den mit dem Sickerwasser ausgetragenen Nährstoffmengen zu großen jährlichen Unterschieden kam.

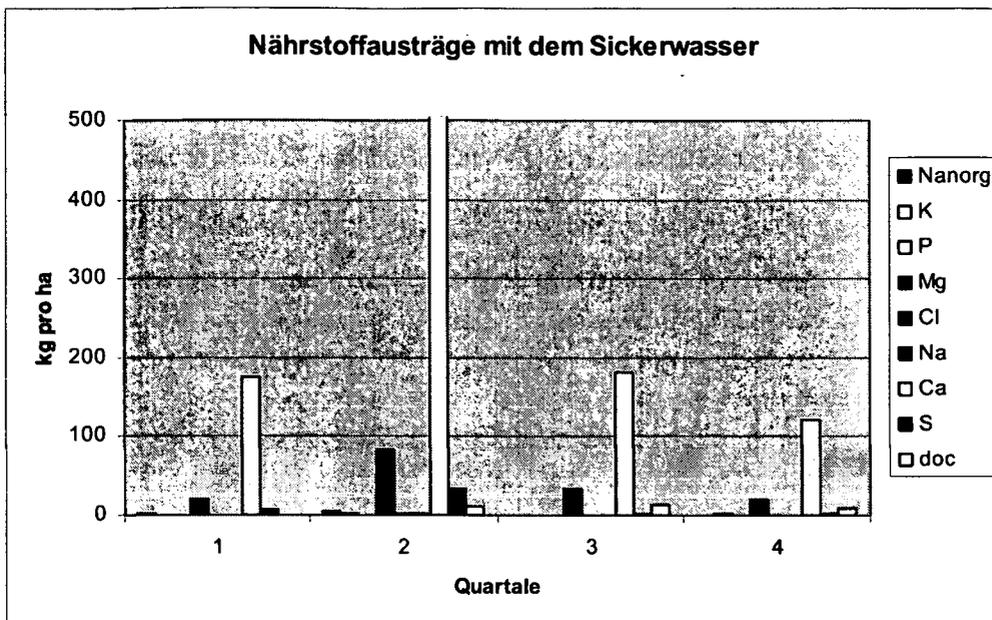


Abbildung 30: Quartals- Nährstoffaustrag in kg ha⁻¹ mit dem Sickerwasser im Jahr 2006; Standort Stoderzinken

Die Menge und auch die Zusammensetzung der Nährstoffe im Sickerwasser am Standort Stoderzinken unterscheiden sich deutlich von jenen am Standort Gumpenstein. Gemeinsam ist, dass Calcium auf beiden Standorten in den höchsten Mengen ausgewaschen wurde. Die ausgewaschene Calcium-Mengen war am Standort Stoderzinken mit 1188 kg fast 5-mal so hoch wie am Standort Gumpenstein. Der größte Teil davon kam aus dem Ausgangsgestein. In Abbildung 30 ist der genaue Calcium-Wert im 2. Quartal nicht vollständig angezeigt, da er mit 709 kg so hoch war, dass die anderen Werte zu ungenau angezeigt worden wären. Auch die hohe Magnesiummenge mit über 158 kg, ist auf das Ausgangsgestein zurückzuführen.

Der Schwefelgehalt war im 2. Quartal, in welchem die Sickerwassermenge am höchsten war, mit beinahe 33 kg pro ha relativ hoch, während in den übrigen Quartalen die Gehaltswerte relativ niedrig waren. Die Auswaschung von Chlor und Natrium war am Standort Stoderzinken nur geringfügig niedriger als am Standort Gumpenstein, die Werte waren sehr niedrig.

Auch bei den für die Pflanzen wichtigen Nährstoffen Stickstoff, Kalium und Phosphor kam es zu Unterschieden. Die ausgewaschenen Mengen von anorganischem Stickstoff waren an beiden Standorten annähernd gleich hoch, die Kaliumauswaschungsmenge war am Standort Stoderzinken höher als am Standort Gumpenstein. Auch die Phosphorauswaschung lag am

Standort Stoderzinken geringgradig höher; dies ist aufgrund des niedrigen pH-Wert zu erklären ist.

Generell zeigte sich dennoch ein ähnlicher der Jahreszeit und dem Standort-angepasster Verlauf. Am Standort Gumpenstein kam es im 1. und vor allem im 2. Quartal zu den höchsten Auswaschungsmengen aller Nährstoffe, was wiederum auf die jahreszeitlich bedingte Wachstumslosigkeit zurückgeführt werden kann. Weiters fällt auf, dass am Standort Stoderzinken beinahe alle Nährstoffe in gleich hohen Mengen ausgewaschen werden wie am Standort Gumpenstein. Dies ist überraschend, da am Standort Stoderzinken keine Düngung durchgeführt wird. Aufgrund der hohen Sickerwassermengen und der geringen Vegetation, die nicht in der Lage ist, alle verfügbaren Nährstoffe zu binden, sowie aufgrund von Stoffeinträgen aus der Atmosphäre, die durch die hohen Niederschlagsmengen auf den Standort gelangen, kann dies belegt werden. Es muss hervorgehoben werden, dass die Nährstoffkonzentrationen im Sickerwasser, wie Tabelle 10 zeigt, extrem niedrig sind.

In Abbildung 31 kann auch nur das 1. Quartal 2007 dargestellt werden. Es sind dennoch einige Unterschiede zum 1. Quartal 2006 zu sehen. So waren trotz der erhöhten Menge an Sickerwasser die Auswaschungsmengen aller Nährstoffe im 1. Quartal 2007 niedriger als im Vergleichsraum des Vorjahres. Lediglich die DOC- Menge war höher.

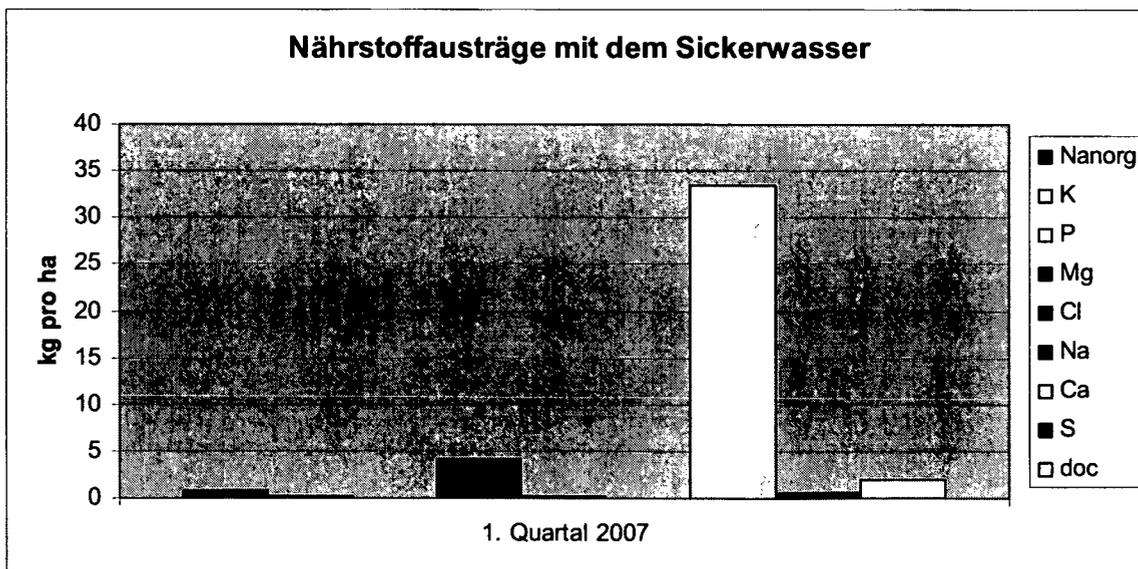


Abbildung 31: Nährstoffaustrag in kg ha^{-1} mit dem Sickerwasser im 1. Quartal 2007; Standort Stoderzinken

In Tabelle 12 sind die Werte der Abbildungen 30 und 31 noch einmal im Überblick zu finden.

Tabelle 12: Sickerwassermengen in mm und Nährstoffausträge in kg ha⁻¹ mit dem Sickerwasser im Jahr 2006 und in Quartal 1 2007; Standort Stoderzinken

	mm		kg ha ⁻¹							
	SW	N _{anorg} *	K	P	Mg	Cl	Na	Ca	S	DOC
1. Quar. 2006	389,7	3,08	0,54	0,08	20,87	0,44	0,68	175,68	5,99	0,00
2. Quar. 2006	1951	3,65	1,46	0,22	82,72	2,01	3,12	709,24	32,85	11,21
3. Quar. 2006	336,8	0,74	0,15	0,02	34,16	0,57	0,82	182,10	2,33	14,36
4. Quar. 2006	248	0,22	1,58	0,04	20,17	0,31	0,76	121,23	1,89	9,16
Summe 2006	2925,5	7,69	3,72	0,37	157,91	3,33	5,38	1.188,26	43,06	34,72
1. Quar. 2007	681,8	0,73	0,12	0,01	4,18	0,20	0,10	33,41	0,54	2,07

* Nanorg = NH₄- N + NO₂- N + NO₃- N; SW = Sickerwassermenge in mm; doc = dissolved organic carbon

6 Diskussion

Das Ziel der Arbeit war es, die Wasser- und Stoffflüsse der beiden unterschiedlichen Standorte Gumpenstein und Stoderzinken miteinander zu vergleichen und etwaige Unterschiede aufzuzeigen. Die Standorte unterscheiden sich aufgrund der geografischen Lage, aufgrund der unterschiedlichen Seehöhe, sowie aufgrund der unterschiedlichen Böden. Als Basis dieser Arbeit wurden vorerst die Klimadaten bearbeitet, da wie aus Kapitel 2.2.1 hervorgeht, da vor allem die Niederschlags- und Temperaturverläufe großen Einfluss auf diese Parameter haben. Aufgrund der Klimadaten ergaben sich bereits große Unterschiede zwischen den beiden Standorte. Die durchschnittliche Jahrestemperatur am Standort Gumpenstein liegt im langjährigen Schnitt bei 6,9°C und die durchschnittliche Jahresniederschlagsmenge beträgt im langjährigen Schnitt 1031 mm. Im Durchschnitt kommt es zu einer Schneedeckenperiode von 101 Tagen. Somit stellt der Standort Gumpenstein einen typischen österreichischen Grünlandstandort dar; bei landesüblicher Bewirtschaftung mit Mähnutzung mit drei Schnitten.

Der Standort Stoderzinken kann witterungsmäßig mit unmittelbar erhobenen Daten nicht so genau beschrieben werden, da Witterungsdaten erst seit Sommer 2005 erhoben wurden, und gesicherte Niederschlagsdaten erst seit März 2007 zur Verfügung standen. Somit konnte nur die Jahresdurchschnittstemperatur 2006 ermittelt werden. Diese lag bei 2,7°C. Am Standort Gumpenstein lag die Jahresdurchschnittstemperatur im Jahr 2006 auf etwa der gleichen Höhe mit dem langjährigen Mittel. Daraus kann geschlossen werden, dass dies auch am Standort Stoderzinken ähnlich war. Aufgrund der fehlenden Niederschlagsdaten musste eine Regression mit Niederschlagsdaten von der Wetterstation Planai verwendet werden, die sich ganz in der Nähe des Stoderzinkens auf selber Höhe befindet. Für den Standort Stoderzinken kam man auf einen errechneten Jahresniederschlag von 1660 mm. Da das Jahr 2006 mit einer Jahresniederschlagsmenge von 1113 mm in Gumpenstein eher als etwas niederschlagsreicher als im Schnitt eingestuft werden muss, gilt dies wohl auch wieder für den Stoderzinken, und man kann annehmen, dass die Jahresniederschlagssumme im Schnitt etwas niedriger liegt. Die Schneedeckenperiode am Stoderzinken betrug in beiden Wintern annähernd 190 Tage und war damit um fast 90 Tage länger als am Standort Gumpenstein. Auch kam es am Standort Stoderzinken in beiden Wintern zu einer höheren Mächtigkeit der Schneedecke als am Standort Gumpenstein. Der Standort Stoderzinken stellt somit einen für die Nördlichen Kalkalpen typischen Bergstandort dar, der als Almweide im Sommer genutzt wird.

Diese grundlegenden Unterschiede führten in allen untersuchten Parametern zu verschiedenen Ergebnissen. Aufgrund der Unterschiede der Bodentypen, der Bodenart, der Mächtigkeit des Bodens, des Horizontaufbaus und der Durchwurzelung und Versorgung des Bodens mit Wasser und Nährstoffen kann es im Jahresverlauf des Bodenwassergehaltes zu großen Unterschieden kommen. Auch der Einfluss der Vegetationsdecke ist groß: so befindet sich am Standort Gumpenstein ein üblicher durchschnittlicher Grünlandbestand (siehe Tabelle 15 im Anhang), am Standort Stoderzinken eine magere Almvegetation (siehe Tabelle 16 im Anhang). Gemeinsam war den beiden Standorten aber der jahreszeitliche- und der witterungsangepasste Verlauf des Bodenwassergehaltes über das Jahr.

Unterschiede ergaben sich im Bodenwassergehalt aufgrund der Schneeschmelze in den einzelnen Tiefenstufen und im zeitlichen Verlauf. Am Standort Gumpenstein sind vor allem die oberen Bodenschichten (im Bereich von 10 bis 45 cm) für die Speicherung des pflanzenverfügbaren Wassers zuständig. In der Bodentiefe von 10 cm kam es im Jahresverlauf aufgrund der Schneeschmelze, Niederschlagsereignissen und der Transpiration des Pflanzenbestandes zu den größten Schwankungen, da sich in diesem Bereich die Hauptwurzelzone befindet. Der größte Teil des pflanzenverfügbaren Wassers wird im A-Horizont des Bodens gespeichert, der stark humos ist und aus lehmigem Sand besteht. Obwohl die Pflanzen auf der Versuchsparzelle zum Teil bis zu 60 cm tief wurzeln, werden die höchsten Wassermengen aus dem A-Horizont entzogen. Der Boden ist zwar tiefgründig, der durchwurzelte B-Horizont reicht bis in eine Tiefe von etwa 1,5 m, dennoch finden in tieferen Schichten kaum mehr nennenswerte Bodenwassergehaltsschwankungen während des Jahres statt.

Am Standort Stoderzinken wird hingegen das pflanzenverfügbare Bodenwasser in einer Bodentiefe in 30 cm, im B-Horizont, gespeichert. Dieser Bereich wies mit Abstand die deutlichsten Schwankungen im Bodenwassergehalt im Jahresverlauf auf, während in 5 cm Bodentiefe nur sehr geringe Schwankungen auftraten. Der A-Horizont ist von sehr geringer Mächtigkeit, daher muss das Wasser in tieferen Bereichen gespeichert werden. Die Durchwurzelung in dieser Tiefenschicht scheint auszureichen, um das erforderliche Wasser für das Pflanzenwachstum aufzunehmen. Unter 30 cm Bodentiefe werden am Standort Stoderzinken kaum mehr nennenswerte Wassermengen gespeichert, da bereits der C-Horizont des Bodens beginnt und dieser keine Durchwurzelung mehr aufweist.

Die Grundwasserneubildungsrate wurde anhand der Sickerwassermenge geschätzt. Dabei wurden die Sickerwassermengen, die mit den Lysimetern ermittelt wurden, den Grundwasserneubildungsmengen gleichgesetzt. Dieser Kompromiss ist nicht ganz korrekt und es

muss mit kleineren Abweichungen gerechnet werden, die berücksichtigt werden müssen. Die Höhe der Grundwasserneubildung wird von vielen Faktoren beeinflusst. Die wichtigsten davon sind die Jahresniederschlagsmenge, die zeitliche Verteilung der Niederschläge übers Jahr, die Landnutzungsart, der Ertrag der angebauten Kultur, der Bodentyp und die Bodenart.

Die Sickerwassermenge in % des Jahresniederschlages am Standort Gumpenstein 2006 war im Vergleich zu den Werten der letzten Jahre, mit 62% relativ hoch. Die Verdunstungsmenge des Jahres 2006 lag bei 418 mm und die Sickerwassermenge folglich bei 695 mm. Dies deckt sich mit den Ergebnissen früherer Arbeiten, die an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein gemacht wurden, wie in Tabelle 13 zu sehen ist.

Tabelle 13: Auszug aus Verdunstung und Sickerwassermengen sowie Stoffausträge mit dem Sickerwasser (kg ha⁻¹) unter Dauergrünland in 150 cm Bodentiefe (BOHNER, EDER und SCHINK, 2007)

	mm	mm	%
Jahr	V	SW	SW
2002	758	613	45
2003	596	266	31
2004	598	492	45
2005	845	354	30

*V = Verdunstung in mm, SW = Sickerwasser in mm, SW% = % Sickerwasser der Jahressickerwassermenge

Die Ursache für die hohe Sickerwasserrate des Jahres 2006 liegt wohl in den großen Schneemengen des Winters 2005/06. Der Anteil des Schmelzwassers am Sickerwasser beträgt wie die Ergebnisse zeigen ca. 32%. Aus der Sickerwassermenge wird mit einigen Vorbehalten annähernd auf die Grundwasserneubildung geschlossen. An anderen Standorten kommt es zum Teil zu weitaus geringeren Grundwasserneubildungsraten; so zum Beispiel in Mitterndorf an der Fische, nahe Ebreichsdorf (NÖ), wo nur 15% des Niederschlags zur Grundwasserneubildung beitragen (KROISS et al., 2004). Dies liegt allerdings größtenteils an den viel geringeren Jahresniederschlagssummen (in etwa 500-600 mm) und an den höheren Jahresdurchschnittstemperaturen dieser Standorten in Österreich. Auf der ostfriesischen Insel Langeoog, in Norddeutschland gibt es nach dem Modell nach Grossmann eine Grundwasserneubildung von 420 mm pro Jahr bei einer Niederschlagsmenge von 730 mm. Das entspricht einem Prozentsatz von 57% und liegt somit ähnlich den Werten in Gumpenstein. Am angeführten Standort ist die Landnutzungsart ausschließlich Grünland-

nutzung (SEILINGER, 2002). Somit kann darauf geschlossen werden, dass die Grundwasserneubildung am Standort Gumpenstein generell hoch ist; speziell im Jahr 2006 war die Grundwasserneubildungsrate besonders hoch. Das Projekt zeigt, dass Lagen mit kontinentalem, eher kaltem und niederschlagsreichem Klima sehr wichtig für die Grundwasserversorgung sind. Der größte Anteil der Grundwasserneubildungsrate wird in der wachstumslosen Zeit gebildet, wie bereits in Kapitel 2.2.3 erwähnt. Vor allem das Wasser aus der Schneeschmelze sickert beinahe zur Gänze durch den Boden und wird dem Grundwasser zugeführt.

Am Standort Stoderzinken kam es zu der vierfachen Sickerwassermenge im Jahr 2006 mit einer Sickerwassermenge von 2925 mm. Dies ist eine extrem hohe Menge, die überwiegend von der hohen Schneemenge des Winters 2005/06 kommt, der Anteil des Schmelzwassers am Gesamtsickerwasser betrug 72%. Bei Abzug der Schmelzwassersickermenge vom Gesamtsickerwasser, ergeben sich eine Sickerwassermenge von 800 mm und eine Sickerwasserrate von annähernd 50%. Diese Menge würde im Bereich der Rate vom Standort Gumpenstein liegen. Die Sickerwassermenge lag somit aufgrund des hohen Wasserwertes des Schnees (siehe Kapitel 5.3.1 und Kapitel 5.3.2) deutlich höher als die Niederschlagsmenge. Zu den höheren Sickerwassermengen kam es, da am Standort Gumpenstein die höchsten Sickerwassermengen hauptsächlich zur Zeit der Schneeschmelze und in Perioden mit geringem Wachstum auftraten, während die Sickerwassermengen am Standort Stoderzinken beinahe das ganze Jahr hoch waren. Lediglich in den Wintermonaten, als der Boden gefroren war, kam es auch am Stoderzinken zu keinen nennenswerten Mengen an Sickerwasser. Diese große Menge lässt sich teilweise durch die höhere Jahresniederschlagssumme und durch den spärlicheren Pflanzenbestand erklären. In den niederen Tauern (ebenfalls in der Steiermark) kommt es zu 1200- 1400 mm Grundwasserneubildung. Diese Werte sind Ergebnisse aus Modellberechnungen (UMWELTBUNDESAMT GmbH, 2004). Die Werte in den Niederen Tauern sind niedriger, allerdings sind auch die Niederschläge dort geringer und es erfolgt eine etwas intensivere Bewirtschaftung. Auch die Bodentypen sind anders.

Die Schneemenge ist entscheidend für die Menge des Sickerwassers und in weiterer Folge für die Grundwasserneubildung eines Standortes. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse ist nur begrenzt möglich, da beide Standorte nicht eben sind. Der Winter 2005/06 war von den Schneemengen her ein extremer Winter (siehe Kapitel 5.4.3, wo die Sickerwassermengen des 1. Halbjahres 2007 aufgezeigt werden), der gezeigt hat, dass bei geringeren Schneemengen auch die Mengen an Sickerwasser niedriger sind. Weiters muss berücksichtigt werden, dass die Sickerwassermenge nicht genau der Grundwasserneubildung entspricht. Die angeführten Werte sind möglicherweise etwas erhöht.

Aufgrund der unterschiedlichen Sickerwassermengen, kam es auch zu größeren Unterschieden in der Art und in der Menge der Auswaschung von Nährstoffen an beiden Standorten. Dies wurde bereits bei den Nährstoffkonzentrationen im Sickerwasser der beiden Standorte ersichtlich (siehe Tabelle 10). Die Konzentrationen der Nährstoffe lagen am Standort Stoderzinken bei höchstens $0,29 \text{ mg l}^{-1}$, während es am Standort Gumpenstein zu etwas höheren Konzentrationen kam, die aber die Grenz- und Schwellenwerte in der Grundwasserverordnung, zum Schutz des Trinkwassers, welche in Tabelle 14 im Anhang zu finden ist, bei weitem nicht erreichten. Es kam also an beiden Standorten zu keiner Verschmutzung des Grundwassers. Die jährliche Durchschnittskonzentration von Nitrat am Standort Gumpenstein lag bei $4,31 \text{ mg l}^{-1}$. Allerdings wurde auf den Versuchsflächen kein Stickstoffdünger ausgebracht. Somit kam der ausgewaschene Stickstoff nur aus der Mineralisierung des Bodens und von den Leguminosen. Bei Versuchen in Bayern kam es auf teils gedüngten Grünlandflächen in Puch/ Fürstenfeldbruck zu Nitratkonzentrationen von $2\text{-}4 \text{ mg l}^{-1}$ bei einer Sickerwassermenge von 600mm . In den verschiedenen Versuchsjahren kam es im Jahresverlauf zu Gesamtstickstoffausträgen von $3\text{-}6 \text{ kg}$. Auf anderen Grünlandvergleichsflächen in Bayern (am Spitalhof nahe Kempten) kam es zu Konzentrationen von $4\text{-}8 \text{ mg l}^{-1}$ auf gedüngten und zum Teil ungedüngten Versuchspartzen und zu einem Stickstoffaustrag von $1\text{-}3 \text{ kg ha}^{-1}$ und Jahr. Somit liegen die Werte von Gumpenstein durchaus im praxisnahen Bereich. Am Standort Puch wurden ebenfalls die Phosphor- Konzentrationen im Sickerwasser gemessen. Diese lagen zwischen $0,16$ und $0,36 \text{ mg l}^{-1}$. Der jährliche Phosphorausstrag lag daher bei $0,5\text{-}1,1 \text{ kg ha}^{-1}$ und Jahr. Der Phosphorausstrag in Gumpenstein lag mit $0,02 \text{ kg}$ deutlich darunter, obwohl eine ausreichende Phosphorversorgung gegeben ist. In diesem Ergebnis spiegelt sich die vorher in Kapitel 2.3.2 erläuterte geringe Mobilität des Phosphors im Boden wieder (LfL, 2006).

Am Standort Stoderzinken kam es bei einzelnen Nährstoffen zu einer leicht höheren Ausstragsmenge als am Standort Gumpenstein, zumeist waren die Mengen aber annähernd gleich. Aufgrund der hohen Sickerwassermenge ist diese Menge aber, wie aus den Konzentrationswerten (siehe Tabelle 10) hervorgeht so verdünnt, dass sie keine Bedrohung darstellt. Besonders hoch war die Auswaschungsmenge an Calcium mit einer Jahresmenge von annähernd 1188 kg , und auch die Menge an Magnesium im Sickerwasser war hoch. Beide Werte werden durch das Ausgangsgestein begründet, aber auch durch Einträge von Kalkstaub der nahen Schotterzufahrtsstraße. Am Standort Gumpenstein war Calcium auch der Nährstoff, der mengenmäßig am höchsten ausgewaschen wurde. Der Hauptgrund dafür war das mit dem Hyperphosphat mit eingebrachte Ca. Weiters kommt es auch in Gumpenstein zu Einträgen von Kalkstaub aus Zufahrtswegen (BOHNER, EDER und SCHINK,

2007). Ebenso wurde mit über 157 kg ha^{-1} eine hohe Menge von Schwefel ausgewaschen. Dies kam ebenfalls zum größten Teil aus der Düngung, da Patentkali eine hohe Menge an Sulfat enthält. Allerdings kann davon ausgegangen werden, dass auch der atmosphärische Eintrag keine so unbedeutende Rolle spielt, denn es kam auch am Standort Stoderzinken mit 43 kg pro ha zu durchaus nennenswerten SchwefelAuswaschungsmengen.

Im Vergleich zu den vorangegangenen Jahren, wo die Auswaschungsmengen von anorganischem Stickstoff am Standort Gumpenstein im Bereich zwischen 2 bis 3 kg lagen, war die Menge im Jahr 2006 mit knapp 7 kg etwas höher, dies ist aber auf die hohe Menge an Sickerwassermenge zurückzuführen.

7 Schlussfolgerung

Die standortbezogenen erwarteten Ungleichheiten bezüglich Bodenwassergehaltes, Grundwasserneubildungsrate, im Sickerwasseranfall, sowie der Stoffausträgen im Sickerwasser aufgrund von Standort- und Klimaunterschieden trafen in beinahe allen Bereichen ein.

Die Bodenwassergehalte in verschiedenen Tiefen bei den untersuchten Böden waren sehr unterschiedlich. Es zeigte sich, dass aufgrund der Verschiedenheit der Vegetation und der Bodenbeschaffenheit an den Versuchsstandorten es zu unterschiedlichen Wasserentzugsmengen der Pflanzen kam, ebenso gab es Differenzen in der Tiefe des entnommenen Wassers. Auch passten sich die Bodenwassergehalte gut den Wasserein- und austrägen im Laufe des Jahres an.

Die Grundwasserneubildung war am Standort Stoderzinken mehr als 4-mal so hoch als am Standort Gumpenstein, obwohl dort 695 mm gemessen wurden. Dies ist auf die höhere Schneemenge, eine höhere Jahresniederschlagsmenge, niedrigere Temperaturen und auf den geringeren Wasserverbrauch der spärlichen Vegetation, zurückzuführen. Die Ergebnisse zeigen, dass Gebirgsstandorte aufgrund der hohen Sickerwassermengen eine bedeutende Rolle für die Trinkwasserversorgung aus dem Grundwasser haben. Die Nährstoffkonzentrationen im Sickerwasser am Stoderzinken war extrem niedrig, auch die Konzentrationen am Standort Gumpenstein überstiegen nicht die Schwellen- und Grenzwerte der in der Grundwasserschwellenwertverordnung festgelegten kritischen Konzentrationswerte. Daher sind die großen Mengen an Grundwasser, die in Bergstandorten gebildet werden, auch in qualitativer Hinsicht sehr wertvoll.

Aus den Ergebnissen geht hervor, dass bei zwei extrem unterschiedlichen Wintern, aufgrund von schwankenden Schneemengen in den Wintermonaten, es zu großen Unterschieden im zeitlichen Anfall und in der Menge des anfallenden Sickerwassers kommt. Hohe Schneeniederschlagsmengen im Winter sind sowohl im Tal als auch am Berg unbedingt notwendig um eine ausreichende Grundwasserneubildung zu gewährleisten. Aufgrund der Prognosen zahlreicher Klimaforscher und Meteorologen kommt es in Zukunft zunehmend zu schneearmen und trockenen Jahren und dadurch zu einer deutlichen Reduktion der Sickerwassermengen und der Grundwasserneubildungsrate.

Die bisher ermittelten Daten können derzeit noch nur bedingt auf andere Standorte übertragen werden. Regional kommt es zu großen Unterschieden im Kleinklima und auch die Bodenverhältnisse sind meist verschieden. Der bisherige Untersuchungszeitraum des ange-

fürten Projektes stellte ein sehr extremes Jahr wegen der hohen Schneemengen im Winter 2005/06 dar. Die gemessenen Sickerwassermengen können nur bedingt zur Ermittlung der tatsächlichen Grundwasserneubildungsmenge verwendet werden. Beide Standorte sind außerdem kein ganz flaches Gelände. Es wird erwartet, dass es zu Grundwassereinträgen aus den umliegenden Flächen kommt sowie zu Oberflächenabflüssen und Schneeverwehungen, die sich in der Mulde ablagern. Daher muss die ermittelte Sickerwassermenge als erhöht beurteilt werden.

8 Zusammenfassung

In der Arbeit wurden Bodenwasserhaushalt, Grundwasserneubildung, Sickerwassermenge sowie Stoffaustragsmengen mit dem Sickerwasser von einem durchschnittlichen österreichischen Grünlandstandort mit dem eines extensiv genutzten Almstandortes verglichen. Zur Beurteilung wurden Lysimeterergebnisse herangezogen. Neben den Klimadaten wurden Sickerwasseranfallsmengen und Stoffeinträge bewertet.

Die Daten von zwei Lysimeterstationen mit den Standorten an der HBLFA Raumberg- Gumpenstein (Talstandort: 700 m Seehöhe) und am Stoderzinken bei Gröbming (Almstandort: 1830 m Seehöhe) wurden im Zeitraum Jänner 2006 bis Juni 2007 ausgewertet. Von beiden Lysimetern wurden Daten der Bodenwassergehaltssonden (TDR- Sonden) ausgewertet, der Jahresverlauf des Bodenwassergehalts in verschiedenen Bodentiefen dargestellt und miteinander verglichen. Von beiden Standorten wurden die Zeiträume März bis Juni in den Jahren 2006 und 2007 gesondert und mit Bodentemperaturwerten unterlegt dargestellt, um die Zeit der Schneeschmelze besonders hervorzuheben.

Aufgrund der gesammelten Sickerwassermenge und der ermittelten Niederschlagsdaten wurde die Grundwasserneubildungsrate errechnet. Gesammeltes Sickerwasser diente im Labor der Abteilung Umweltökologie an der HBLFA Raumberg- Gumpenstein zur Analyse auf die Stoffe Kalium (K), Calcium (Ca), Magnesium (Mg), Natrium (Na), Ammonium (NH₄), Chlorid (Cl), Nitrit (NO₂), Nitrat (NO₃), Sulfat (SO₄) und Phosphat (PO₄). Weiters wurde noch der TOC- und DOC-Gehalt des Sickerwassers festgestellt. Anhand dieser Konzentrationen und der Sickerwassermenge wurde die jährliche Austragsmenge der angeführten Stoffe ermittelt und in Quartalswerte zusammengefasst. Die Eintragsmengen aus den Niederschlägen sowie aus den Düngern wurden mit den Austrägen verglichen.

9 Abstract

In this study the soil water content, the groundwater recharge and the amount of seepage water as well as the amount of leaching losses of nutrients which are carried out with the seepage water of an typical Austrian grassland site has been compared with those of an alpin pasture, by lysimeter studies. The climate and the amounts of wet deposition were also taken into consideration.

The data of both lysimeterstations in the study areas during time between January 2006 and Juni 2007 were analyzed. The lysimeterstations, are located at the "HBLFA Raumberg-Gumpenstein" (altitude: 700 m a.s.l.) and on the Stoderzinken, a mountain near Gröbming, (altitude: 1830m a.s.l.). Data of the volumetric water content of both soils in different soil depths have been measured with TDR- sensors and the results were compared together. The period from March till Juni 2006 and 2007 were separately shown in an extra chart, together with soil temperatures in the same soil depths, to demonstrate the seepage water flow caused by snowmelt.

By collecting amounts of seepage water and comparison it with the measured precipitation amounts was the groundwater recharge on both study areas calculated. The collected seepage water was also analyzed in the laboratory in the "Department of Environmental Ecology" at the "HBLFA Raumberg Gumpenstein". The concentrations of potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), sodium (Na), ammonium (NH₄), chloride (Cl), nitrite (NO₂), nitrate (NO₃), sulphate (SO₄) and phosphate (PO₄) were analyzed. Additionally the concentration of the TOC and DOC were measured. By this means the yearly amount of the leaching losses of nutrients could be estimated by multiply the concentration with the amount of seepage water.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Wasserkreislauf vereinfacht dargestellt (NÜTZMANN, 2005).....	11
Abbildung 2: Der Wassergehalt in Vol. % in Abhängigkeit von der Wasserspannung in den Texturen Sand, Lehm und Ton (pF- Kurven) (MÜCKENHAUSEN, 1993).....	13
Abbildung 3: Der Kreislauf des Stickstoffs (ROWELL, 1994).....	20
Abbildung 4: Kreislauf des Phosphors (SCHAFFER, 2001).....	21
Abbildung 5: Standorte/ Gumpenstein und Stoderzinken (FREYTAG und BERNDT, 2001)	22
Abbildung 6: Niederschlagsverteilung in Österreich (Schaumberger, 2005).....	23
Abbildung 7: Lysimeteranlage am Standort Gumpenstein (HBLFA Raumberg- Gumpenstein).....	27
Abbildung 8: Lysimeteranlage am Stoderzinken (HBLFA Raumberg- Gumpenstein).....	29
Abbildung 9: Lysimeter am Standort Gumpenstein (HBLFA Raumberg- Gumpenstein)	30
Abbildung 10: Lysimeter am Standort Stoderzinken (HBLFA Raumberg- Gumpenstein).....	31
Abbildung 11: Standort Stoderzinken und Ersatzmessstelle Planai (FREYTAG und BERNDT, 2001)	35
Abbildung 12: Tagesmitteltemperaturverlauf in °C im Jahr 2006; Standort Gumpenstein.....	37
Abbildung 13: Tagesniederschlagssummen und Jahressumme in mm im Jahr 2006; Standort Gumpenstein	38
Abbildung 14: Tagesmitteltemperaturverlauf in °C im Jahr 2006; Standort Stoderzinken	41
Abbildung 15: Tagesniederschlagssummen und Jahressumme in mm im Jahr 2006; Standort Stoderzinken.....	42
Abbildung 16: Bodenwassergehalt in Vol.% im Jahresverlauf 2006; Standort Gumpenstein	44
Abbildung 17: Verlauf des Bodenwassergehaltes und der Bodentemperaturen von März bis Juni 2006; Standort Gumpenstein.....	46
Abbildung 18: Verlauf des Bodenwassergehaltes und der Bodentemperaturen von März bis Juni 2007; Standort Gumpenstein.....	47
Abbildung 19: Bodenwassergehalt in Vol.% im Jahresverlauf 2006; Standort Stoderzinken.....	48
Abbildung 20: Verlauf des Bodenwassergehaltes und der Bodentemperaturen von März bis Juni 2006; Standort Stoderzinken	50

Abbildung 21: Verlauf des Bodenwassergehaltes und der Bodentemperaturen von März bis Juni 2007; Standort Stoderzinken.....	51
Abbildung 22: Grundwasserneubildung in mm im Jahr 2006; Standort Gumpenstein.....	53
Abbildung 23: Grundwasserneubildung in mm im Jahr 2006; Standort Stoderzinken	56
Abbildung 24: Quartals- Sickerwassermengen in mm im Jahr 2006; Standort Gumpenstein	62
Abbildung 25: Sickerwassermengen in mm im 1. und 2. Quartal 2007; Standort Gumpenstein	63
Abbildung 26: Quartals- Nährstoffaustrag in kg ha^{-1} mit dem Sickerwasser im Jahr 2006; Standort Gumpenstein	64
Abbildung 27: Nährstoffausträge in kg ha^{-1} mit dem Sickerwasser im 1. Quartal 2007; Standort Gumpenstein	66
Abbildung 28: Quartals- Sickerwassermengen in mm im Jahr 2006; Standort Stoderzinken.....	68
Abbildung 29: Sickerwassermengen in mm im 1. und 2. Quartal 2007; Standort Stoderzinken	69
Abbildung 30: Quartals- Nährstoffaustrag in kg ha^{-1} mit dem Sickerwasser im Jahr 2006; Standort Stoderzinken.....	70
Abbildung 31: Nährstoffaustrag in kg ha^{-1} mit dem Sickerwasser im 1. Quartal 2007; Standort Stoderzinken.....	71
Abbildung 32: Bauplan der Lysimeteranlage am Standort Stoderzinken	96

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Lysimeterarten (CEPUDEK, 2002)	8
Tabelle 2: Bodenprofil Standort Gumpenstein.....	26
Tabelle 3: Bodenprofilbeschreibung Stoderzinken	28
Tabelle 4: Monatsdurchschnittstemperaturen in °C 20 06 bis Juni 2007 im Vergleich zum langjährigen Mittel (1953- 2006); Standort Gumpenstein (ZAMG, 2006).....	36
Tabelle 5: Monatsniederschlagssummen in mm 2006 bis Juni 2007 im Vergleich zum langjährigen Mittel (1953- 2006); Standort Gumpenstein (ZAMG, 2006).....	36
Tabelle 6: Monatsdurchschnittstemperaturen in °C im Jahr 2006 bis Juni 2007; Standort Stoderzinken.....	39
Tabelle 7: Mithilfe der Regressionsrechnung errechnete und tatsächlich gemessene Monatsniederschlagssummen in mm im Jahr 2006 bis Juni 2007; Standort Stoderzinken	39
Tabelle 8: Nährstoffkonzentrationen im Niederschlag; Standort Stoderzinken 2006	59
Tabelle 9: Jährliche Stoffeinträge (kg ha ⁻¹) mit den Niederschlägen an der HBLFA Raumberg- Gumpenstein (HBLFA Raumberg- Gumpenstein).....	59
Tabelle 10: Jahres Durchschnitts- Stoffkonzentrationen in mg l ⁻¹ im Sickerwasser an den Standorten Gumpenstein und Stoderzinken im Jahr 2006	60
Tabelle 11: Sickerwassermengen in mm und Nährstoffausträge in kg ha ⁻¹ mit dem Sickerwasser im Jahr 2006 und im 1. Quartal 2007; Standort Gumpenstein	67
Tabelle 12: Sickerwassermengen in mm und Nährstoffausträge in kg ha ⁻¹ mit dem Sickerwasser im Jahr 2006 und in Quartal 1 2007; Standort Stoderzinken.....	72
Tabelle 13: Auszug aus Verdunstung und Sickerwassermengen sowie Stoffausträge mit dem Sickerwasser (kg ha ⁻¹) unter Dauergrünland in 150 cm Bodentiefe (BOHNER, EDER und SCHINK, 2007)	75
Tabelle 14: Grenzwerte für Schadstoffe der Trinkwasserverordnung (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 2002).....	91
Tabelle 15: Vegetationsaufnahme nach Braun- Blanquet am Standort Gumpenstein.....	92
Tabelle 16: Vegetationsaufnahme nach Braun- Blanquet am Standort Stoderzinken	94
Tabelle 17: Regressionsparameter Niederschlagsberechnung Stoderzinken	97
Tabelle 18: Auszug aus Rohdaten Standort Stoderzinken.....	98

Tabelle 19: Auszug aus Rohdaten der Analytik am Standort Gumpenstein..... 99

Literatur

AEIOU: Kulturinformationssystem des BMBWK; Nördliche Kalkalpen

<http://aeiou.iicm.tugraz.at/>, besucht am 23.08.2006

AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG, FACHABTEILUNG 19A WASSERWIRTSCHAFTLICHE PLANUNG UND HYDROGRAPHIE, 2006: mündliche Auskunft

ANONYM; 2002: Geologie Nördliche Kalkalpen- Warscheneckgruppe

http://www.univie.ac.at/physiogeographisches_labor/ex_kalk_krist2002/geologie/geologie_kalk.htm besucht am 23.08.2006.

ARBEITSGRUPPE LYSIMETER, 2006: Definitionen von Lysimeter;

http://www.lysimeter.at/seiten_deu/ueberuns/lysimeter.htm, besucht am 27.07.2006;

BAUMGARTNER A., LIEBSCHER H., 1990: Lehrbuch der Hydrologie; Allgemeine Hydrologie; Verlag Gebrüder Borntraeger Berlin Stuttgart, Seite 72- 76.

BIODIVERSITÄT IN ÖSTERREICH, 2006: <http://www.biodiv.at/chm/situation/klima.htm> besucht am 03.08.2006

BOHNER, A., HBLFA Raumberg- Gumpenstein, 2008: mündliche Auskunft

BOHNER, A., EDER, G., 2006: Boden- und Grundwasserschutz im Wirtschaftsgrünland; Umweltprogramme für die Landwirtschaft 2006, Seite 53- 63

BOHNER, A., EDER, G., Schink M., 2007: Nährstoffkreislauf und Stoffflüsse in einem Grünland- Ökosystem, 12. Gumpensteiner Lysimetertagung, Tagungsband, Seite 91- 99

BÖHM, K. E., CEPUDER, P., EDER, G., FANK, J., FEICHTINGER, F., FÜHR, F., GAUDLITZ, H., GERZABEK, M.H., HINREINER, G., HOLZMANN, H., KLOTZ, D., KNAPPE, S., KRENN, A., LEIS, A., MEISSNER, R., MITTELSTAEDT, W., NACHTNEBEL, H.P., PÜTZ, Th., RIESING, J., RUPP, H., SEEGER, J., von UNOLD, G., VEREECKEN, H. , 2002: Lysimeter- Anforderungen, Erfahrungen, technische Konzepte; Beiträge zur Hydrologie; 53, Seiten 115- 232

BUCHHOLZ, S., LÜCKERATH, A., LEUCK M., KLEIN, R., 2006: Grundwasser: Neubildung, Leitung, Eintrag von Schadstoffen und Grundwassermonitoring; Seminar: Altlasten, Depo- nietechnik und Hydrogeologie; FH Trier.

CEPUDER, P., 2004: Bodenwasserschutz; Skriptum zur Vorlesung, Universität für Bodenkultur

DIETRICH, J., SCHÖNINGER, M., 2003: Hydroskript, Skript zur Vorlesung und Übung der Hydrologie des Studienganges Geoökologie an der TU Braunschweig.
<http://www.hydroskript.de/html/index.html?page=/html/hykp0201.html>, besucht am 17.08.2006

EDER, G., SCHINK, M., 2005: Mountain Lysimeter Station Stoderzinken (1830m) in Austria, province of Styria, market- town of Gröbming, www.raumberg-gumpenstein.at besucht am 17.08.2006

ELLENBERG, H., 1996: Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen; Ulmer Verlag, Seite 202, 206 und 216.

FANK J., v. UNOLD, G., 2005: Wägbare monolithische Lysimeter unter maschineller Freilandbewirtschaftung (Wagna- Austria); 11. Gumpensteiner Lysimetertagung Tagungsband, BAL Gumpenstein, Seite 55- 60

FREY, H. , PECHMANN, C., 2006: Quantifizierung Bodenphysikalischer Prozesse mit Lysimetern; Projektseminar: Hydrologie natürlicher Systeme, Sommersemester 2006, Universität Bayreuth; http://www.hydro.uni-bayreuth.de/lehre/files/LVDetail102/Lysimeter-1_Christine_Pechmann.pdf; besucht am 17.08.2006

FREYTAG & BERNDT, 2001: Superatlas, Deutschland, Österreich, Schweiz,

GANTSCHIGG, G., 2005: www.gantschnigg.net/palaudarium/chemie-lexikon.html, besucht am 18.07.2007

GERZABEK, M.H., 2002: Skriptum zur Lehrveranstaltung Einführung in die Bodenkunde; Universität für Bodenkultur; Sommersemester 2002

HÖLTING, B., 1996: Hydrogeologie; Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart; 5. Auflage, Seite 141

HYNEK, B., 2001: Anleitung zur Schneeprofilauswertung; Skriptum zum Gletscherpraktikum; Universität für Bodenkunde

KROISS, H., ZESSNER, M., SCHILLING, C., BLASCHKE, A.P., ASZTALOS, J., KIRNBAUER, R., TENTSCHERT, E., HASSLER, C., KAVKA, G., FARNLEITNER, A., MACH, R.; 2004: Auswirkung von Versickerung und Verrieselung von durch Kleinkläranlagen mechanisch biologisch gereinigtem Abwasser in dezentralen Lagen; Projektbericht; Projekt im Auftrag des Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Seite 65

LFL, 2006: Nitrat- und Phosphorbelastung des Sickerwassers bei Acker- und Grünlandnutzung, Bayrisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten, <http://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/umwelt/17148/index.php?context=/lfl/iab/gruenland/>, besucht am 30.07.2007

METEODAT GmbH., 99: Schneedecke extrem aber kein Rekord; Newsletter 2/99; www.meteodat.ch, besucht am 18.07.2006

MÜCKENHAUSEN, E., 1993: Die Bodenkunde und ihre geologischen, geomorphologischen, mineralogischen und petrologischen Grundlagen; DLG Verlag Frankfurt am Main; Seite 312-317

NACHTNEBEL, H. P., 2004: Studienblätter zur Gewässerkunde Universität für Bodenkultur; Wien, Sommersemester 2004, www.boku.ac.at/iwhw/gewaesserkunde/html/Kapitel5.html besucht am 03.08.2006

NUETZMANN G., 2005: Skriptum zur Vorlesung: Einführung in die Hydrologie, an der TU Berlin; www.igb-berlin.de/abt1/mitarbeiter/nuetzmann/skript/kap31.pdf besucht am 27.07.2006

OTT, 2005: OTT- Parsivel = Die neue Erfolgsformel in der Meteorologie; OTT Broschüre

ROWELL, D.L., 1993: Bodenkunde- Untersuchungsmethoden und ihre Anwendungen; Springer Verlag; S. 379- 381

SCHAFFER, R., 2001: Skriptum zum Fach Pflanzenbau, HBLA Raumberg

SCHAUMBERGER, A., 2005: Ertragsanalyse im österreichischen Grünland mittels GIS unter besonderer Berücksichtigung klimatischer Veränderungen; Diplomarbeit; TU Graz,

SCHEFFER, F., SCHACHTSCHABEL, P., et al, 2002: Lehrbuch der Bodenkunde; 14. Auflage; Enke Verlag; Seite 209 ff.

SCHEFFER, F., SCHACHTSCHABEL, P., et al, 2002: Lehrbuch der Bodenkunde; 14. Auflage; Enke Verlag; Seite 273 ff.

SCHEFFER, F., SCHACHTSCHABEL, P., et al, 2002: Lehrbuch der Bodenkunde; 14. Auflage; Enke Verlag; Seite 362

SCHINK, M., 2007: Präsentation Arbeitskreis ungesättigte Zone

SEILINGER, A., 2002: Methoden zur Erfassung des regionalen Wasserhaushalts im niedersächsischen Küstengebiet am Beispiel der Insel Langeoog; Diplomarbeit an der Technischen Universität Braunschweig, 54 und 55

STEINBEISS, S., 2006: Einfluss der Biodiversität von Pflanzen auf die Speicherung von Kohlenstoff in Böden und auf den Austrag von gelösten organischem Kohlenstoff; Dissertation, Friedrich- Schiller- Universität, Jena, Seite 46 ff.

UMS: Umweltanalytische Mess- Systeme GmbH, 2006, <http://www.ums-muc.de/produkte.html>, besucht am 03.08.2006

UMS, 2005: UMS – Measure to know, Broschüre der GmbH UMS, Ausgabe 1.0

UMWELTBUNDESAMT GmbH;

http://www.umweltbundesamt.de/altlast/web1/berichte/selma_lit/SELMA_Lit-2.2.html, besucht am 10.05.2007

UMWELTBUNDESAMT GmbH, 2004: Donau (inkl. Elbe)/Grundwasser, Hydrologische Charakterisierung, GK100114,

UNOLD v. G., 2002: Allgemeine Anforderungen an Lysimeterstationen und deren Betrieb; UMS- Broschüre

WIKIPEDIA: Die freie Enzyklopädie: www.wikipedia.org/wiki/Lysimeter, besucht am 27.07.2006

10 Anhang

Tabelle 14: Grenzwerte für Schadstoffe der Trinkwasserverordnung (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 2002)

Element / Stoffgruppe	TVO		Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung			
	Grenzwert [µg/l Wasser]	Prüfwert [µg/l Wasser]	Pfad Boden - Mensch			
			Pfad Boden Grundwasser	Kinderspiel- flächen	Wohn- gebiete	Park- u. Frei- zeitanlagen
			Maßnahmenwerte (trotz) und Prüfwerte [mg/kg TS Boden]			
Anorganische Stoffe						
Ammon	—	10	—	—	—	—
Arsen	10	10	25	50	125	140
Blei	40	25	200	400	1000	2000
Cadmium	5	5	10 ^a	20 ^a	50	60
Chrom	50	50	200	400	1000	1000
Chromat	—	8	—	—	—	—
Kobalt	—	50	—	—	—	—
Kupfer	3000	50	—	—	—	—
Molybdän	—	50	—	—	—	—
Nickel	50	50	70	140	350	900
Quecksilber	1	1	10	20	50	60
Selen	10	10	—	—	—	—
Thallium	—	—	—	—	—	—
Zink	5000	500	—	—	—	—
Zinn	—	40	—	—	—	—
Cyanid	50	50	50	50	50	100
Cyanid, leicht- freisetzbar	—	10	—	—	—	—
Fluorid	1500	750	—	—	—	—
Nitrat	50000	—	—	—	—	—
Nitrit	100	—	—	—	—	—
Organische Stoffe						
MKW ^b	—	200	—	—	—	—
BTEX ^c	—	20	—	—	—	—
Benzol	—	—	—	—	—	—
LHKW ^d	0,01	10	—	—	—	—
Akrint	—	0,1	2	4	10	—
HCB	—	—	4	8	20	200
HCH Gemisch oder HCH	—	—	5	10	25	—
PCP	—	—	50	100	250	250
DDT	—	0,1	40	80	200	—
PSM ^e einzeln	0,1	—	—	—	—	—
PSM ^e gesamt	0,5	—	—	—	—	—
Phenole	—	20	—	—	—	—
PCB ^f	—	0,05	0,4	0,8	2	40
PAK ^g	0,2	0,2	—	—	—	—
PAK ^h	—	—	—	—	—	—
Benz(a)pyren	—	—	2	4	10	12
Naphthalin	—	2	—	—	—	—
Dioxine/Furane ⁱ	—	—	0,0001	0,001	0,001	0,1

^a Bei Böden mit teilweise reduzierenden Verhältnissen gilt ein Prüfwert von 50 mg kg⁻¹ TS.
^b Extraktionsverfahren: KW = Königswasser, AN = Ammoniumnitrat
^c In Haus- und Kleingärten mit Kindern und Nutzpflanzen ist der Cd-Wert 2 mg kg⁻¹ TS.
^d Auf Flächen mit Brotweizen oder stark Cd-anreicherndem Gemüse gilt als Maßnahmenwert 0,04 mg kg⁻¹ TS; ansonsten 0,1 mg kg⁻¹ TS.
^e Bei Grünlandnutzung durch Schafe gilt als Maßnahmenwert 200 mg kg⁻¹ TS.
^f Mineralölkohlenwasserstoffe n-Alkane (C₁₀ - C₃₉), Isoalkane, Cycloalkane und aromatische Kohlenwasserstoffe
^g Leichtflüchtige aromatische Kohlenwasserstoffe (Benzol, Toluol, Xylol, Ethylbenzol, Styrol, Cumol)
^h Leichtflüchtige Halogenkohlenwasserstoffe (Summe der halogenierten C₁- und C₂-Kohlenstoffe)
ⁱ PSM = Pflanzenschutzmittel
^j PCB: Σ der PCB; 6 Kongenere nach Ballschmieren gemäß Altlastenverordnung (mit 5, ggf. bei bekanntem Stoffspektrum einfache Summenbildung)
^k PAK: Σ der PAK; (15 Einzelsubstanzen ohne Naphthalin und -naphthalin)
^l PAK: Summe 6 PAK nach TVO
^m Summe der 2,3,7,8-TCOD-Toxizitätsäquivalente (nach NATO/CMS)

Tabelle 15: Vegetationsaufnahme nach Braun-Blanquet am Standort Gumpenstein

Deutsche Bez.	Lateinische Bez.	Häufigkeit
Wiesen- Schafgarbe	<i>Achillea millefolium</i> agg.	2
Geissfuss	<i>Aegopodium podagraria</i>	1b
Rotes Straußgras	<i>Agrostis capillaris</i>	1
Kriechender Günsel	<i>Ajuga reptans</i>	2a
Kahler Frauenmantel	<i>Alchemilla glabra</i>	+
Glatthafer	<i>Arrhenatherum elatius</i>	1a
Gänseblümchen	<i>Bellis perennis</i>	1
Wiesen Glockenblume	<i>Campanula patula</i>	+
Wiesen- Schaumkresse	<i>Cardaminopsis halleri</i>	+
Gewöhnliches Hornkraut	<i>Cerastium holosteoides</i>	+
Wiesen- Pippau	<i>Crepis biennis</i>	+
Knautgras	<i>Dactylis glomerata</i>	2
Kriechende Quecke	<i>Elymus repens</i>	+
Wiesenschwingel	<i>Festuca pratense</i>	1a
Rotschwingel	<i>Festuca rubra</i> agg.	1a
Gewöhnliches Wiesenlabkraut	<i>Galium album</i>	+
Gundelrebe	<i>Glechoma hederacea</i>	+
Rauer Löwenzahn	<i>Leontodon hispidus</i>	1a
Englisches Raygras	<i>Lolium perenne</i>	1a
Wiesenlieschgras	<i>Phleum pratense</i>	1
Wiesenrispengras	<i>Poa pratensis</i>	1b
Gewöhnliches Rispengras	<i>Poa trivialis</i>	2
Kleine Brunelle	<i>Prunella vulgaris</i>	+
Kriechender Hahnenfuß	<i>Ranunculus repens</i>	+
Wiesen- Sauerampfer	<i>Rumex acetosa</i>	1a
Weißer Lichtnelke	<i>Silene alba</i>	+
Wiesen- Löwenzahn	<i>Taraxacum officinale</i> agg.	2
Wiesen- Rotklee	<i>Trifolium pratense</i>	+
Weissklee	<i>Trifolium repens</i>	2

Goldhafer	<i>Trisetum flavescens</i>	2b
Feld- Ehrenpreis	<i>Veronica arvensis</i>	+
Gamander- Ehrenpreis	<i>Veronica chamaedrys</i> ssp. <i>Chamaedrys</i>	1a
Quendelblättrige Ehrenpreis	<i>Veronica serpyllifolia</i> ssp. <i>Serpyllifolia</i>	+
Vogel- Wicke	<i>Vicia cracca</i>	+

Legende:

2a: 20- 25% Deckung

2: 13- 19% Deckung

2a: 5- 12% Deckung

1b: 4- 5% Deckung

1: 2- 3,9% Deckung

1a: 1- 1,9% Deckung

r: wenig deckend wenig Individuen

+ : sehr wenig deckend und sehr wenige Individuen

Tabelle 16: Vegetationsaufnahme nach Braun-Blanquet am Standort Stoderzinken

Deutsche Bez.	Lateinische Bez.	Häufigkeit
Rotes Straußgras	<i>Agrostis capillaris</i>	2b
Gänseblümchen	<i>Bellis perennis</i>	1
Scheuchzers Glockenblume	<i>Campanula scheuchzeri</i>	+
Alpen- Rispengras	<i>Poa alpina</i>	1
Alpen- Lieschgras	<i>Phleum rhaeticum</i>	r
Gewöhnliches Hornkraut	<i>Cerastium holosteoides</i>	1
Gold- Pippau	<i>Crepis aurea</i>	2
Niedriges Rispengras	<i>Poa supina</i>	2a
Frauenmantel	<i>Alchemilla</i> sp.	2
Alpen Geruchgras	<i>Anthoxanthum alpinum</i>	+
Gewöhnlicher Berghahnenfuss	<i>Ranunculus montanus</i>	2a
Weißklee	<i>Trifolium repens</i> ssp. <i>repens</i>	+
Nickendes Weidenröschen	<i>Epilobium nutans</i>	+
Gescheckter Augentrost	<i>Euphrasia picta</i>	+
Blutwurz	<i>Potentilla aurea</i>	1
Rasenschmiele	<i>Deschampsia cespitosa</i>	1
Alpen- Soldanelle	<i>Soldanella alpina</i>	+
Felsen- Ehrenpreis	<i>Veronica fruticans</i>	+
Wilder Rotklee	<i>Trifolium pratense</i> ssp. <i>pratense</i>	r
Kriechender Hahnenfuss	<i>Ranunculus repens</i>	+

Berg- Nelkenwurz	<i>Geum montanum</i>	+
Frühlings Enzian	<i>Gentiana verna</i>	+
Rauer Löwenzahn	<i>Leontodon hispidus</i>	1
Gezählter Moosfarn	<i>Selaginella selaginoides</i>	+
Alpen Mastkraut	<i>Sagina saginoides</i>	+
Feld- Hainsimse	<i>Luzula campestris</i> agg.	r
Kahler Frauenmantel	<i>Alchemilla glabra</i>	2
Wiesen- Margerite	<i>Leucanthemum vulgare</i> agg.	r
Knöllchen- Knöterich	<i>Persicaria vivipara</i>	r

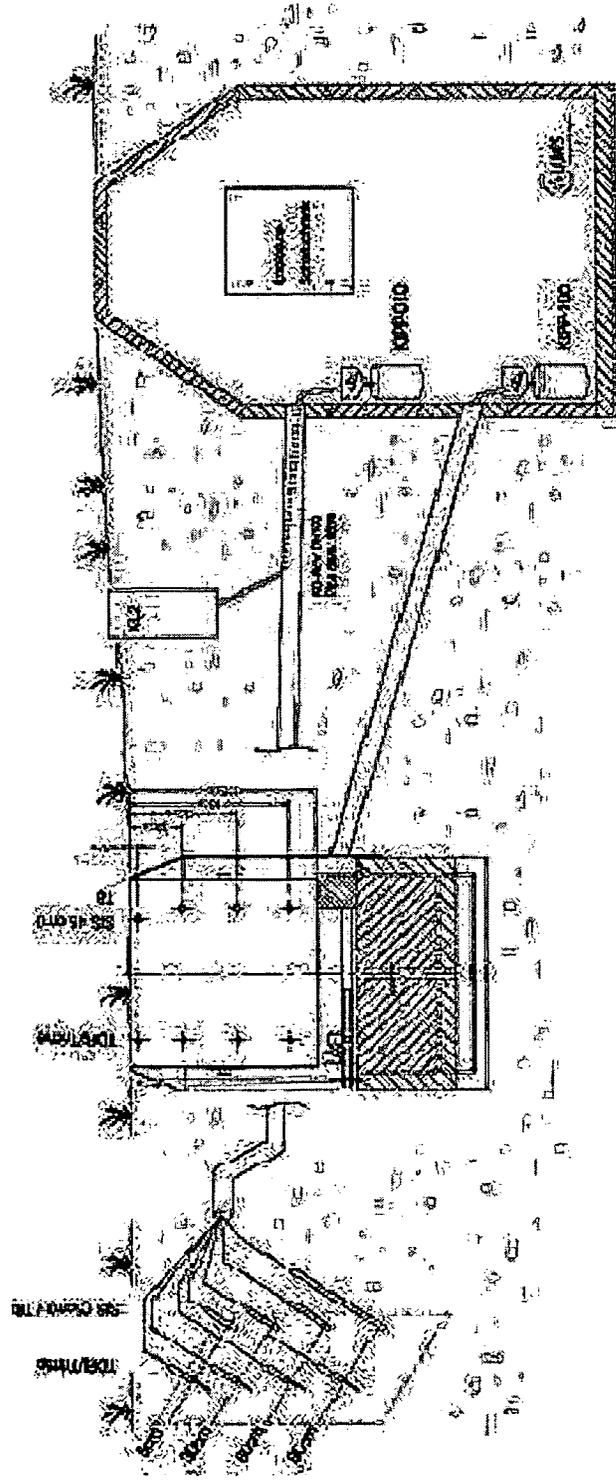


Abbildung 32: Bauplan der Lysimeteranlage am Standort Stoderzinken

Tabelle 17: Regressionsparameter Niederschlagsberechnung Stoderzinken

AUSGABE: ZUSAMMENFASSUNG

<i>Regressions-Statistik</i>	
Multipler Korrelationskoeffizient	0,66484833
Bestimmtheitsmaß	0,4420233
Adjustiertes Bestimmtheitsmaß	0,43685685
Standardfehler	6,31018904
Beobachtungen	110

ANOVA

	<i>Freiheitsgrade (df)</i>	<i>Quadratsummen (SS)</i>	<i>Mittlere Quadratsumme (MS)</i>	<i>Prüfgröße (F)</i>	<i>F krit</i>
Regression	1	3406,729089	3406,72909	85,5564703	2,3655E-15
Residue	108	4300,396456	39,8184857		
Gesamt	109	7707,125545			

	<i>Koeffizienten</i>	<i>Standardfehler</i>	<i>t-Statistik</i>	<i>P-Wert</i>	<i>Untere 95%</i>	<i>Obere 95%</i>	<i>Untere 95,0%</i>	<i>Obere 95,0%</i>
Schnittpunkt	1,78999116	0,659735239	2,71319623	0,00775721	0,48228151	3,09770082	0,48228151	3,09770082
X Variable 1	0,87373405	0,094461063	9,24967406	2,3655E-15	0,68649584	1,06097226	0,68649584	1,06097226

Tabelle 18: Auszug aus Rohdaten Standort Stoderzinken

jahr	monat	tag	stunde	woche	a_tdr_ly005	a_tdr_ly030	a_tdr_ly060	a_tdr_ly090	a_tdr_ly030	a_tdr_ly060	a_tdr_ly090	a_tmp_ly030	a_tmp_ly060	a_tmp_ly090	a_sis_ly005	a_sis_ly030	a_sis_ly060	a_sis_ly090	a_gewicht_ly01
2005	07	21	01	29	39,99313	58,22008	17,41543	15,30558	50,40833	47,17078	62,48484	11,69887	10,69573	9,94671	59,21587	0	0	0	0
2005	07	21	01	29	39,99354	58,27278	17,41628	15,25719	50,49255	47,34961	62,48902	11,69431	10,70467	9,95505	59,18919	0	0	0	0
2005	07	21	01	29	39,99101	58,32422	17,41624	15,25389	50,55029	47,49011	62,35449	11,71153	10,71888	9,9598	59,17181	0	0	0	0
2005	07	21	01	29	39,94081	58,27026	17,41245	15,24923	50,79932	47,5365	62,44482	11,71906	10,73308	9,95222	59,11315	0	0	0	0
2005	07	21	01	29	39,93948	58,32208	17,41358	15,29932	50,76172	47,02722	62,34277	11,72598	10,73442	9,96134	59,18691	0	0	0	0
2005	07	21	02	29	39,99553	58,31902	17,41682	15,30057	50,69165	47,20837	62,2572	11,73076	10,73901	9,97111	60,05088	0	0	0	0
2005	07	21	02	29	39,99307	58,423	17,4135	15,25402	50,82495	47,59204	62,1803	11,73222	10,75087	9,96986	59,87546	0	0	0	0
2005	07	21	02	29	39,94649	58,27182	17,41468	15,25182	50,83801	47,45715	62,15308	11,74008	10,75738	9,97358	59,91699	0	0	0	0
2005	07	21	02	29	39,98881	58,32648	17,41581	15,2485	50,97925	48,27783	62,09241	11,73666	10,75919	9,98778	60,04687	0	0	0	0
2005	07	21	02	29	39,99537	58,12109	17,41643	15,25819	50,99878	48,24329	62,07922	11,74422	10,76418	9,97915	60,00258	0	0	0	0
2005	07	21	02	29	39,94482	58,07275	17,41338	15,25005	51,14722	48,33447	62,05701	11,74718	10,79529	9,98337	61,20109	0	0	0	0
2005	07	21	03	29	39,93814	58,27273	17,4173	15,29743	51,15356	48,02686	61,95361	11,7492	10,78344	9,98192	61,25318	0	0	0	0
2005	07	21	03	29	39,63997	58,22352	17,41848	15,30381	51,31445	48,21143	62,02063	11,75039	10,79914	9,99356	61,17838	0	0	0	0
2005	07	21	03	29	39,99002	58,32281	17,41875	15,2509	51,4325	48,29517	61,88049	11,76406	10,80049	9,99367	61,23959	0	0	0	0
2005	07	21	03	29	39,94275	58,32107	17,41525	15,2537	51,65112	48,17065	61,84033	11,75866	10,79475	9,99879	61,23101	0	0	0	0
2005	07	21	03	29	39,94466	58,36898	17,41422	15,30329	51,53296	48,0752	61,78308	11,77045	10,79826	9,99146	61,18269	0	0	0	0
2005	07	21	03	29	39,94307	58,27101	17,41764	15,30795	51,41321	47,92822	61,87781	11,76062	10,80172	10,00507	61,23788	0	0	0	0
2005	07	21	04	29	39,9439	58,52359	17,41644	15,2482	51,62915	48,41589	61,56885	11,76806	10,82867	10,0055	62,45676	0	0	0	0
2005	07	21	04	29	39,94127	58,37214	17,41953	15,30305	51,5813	47,81714	61,50928	11,76676	10,79773	10,00819	61,20044	0	0	0	0
2005	07	21	04	29	39,9411	58,37738	17,41526	15,29728	51,76526	47,98936	61,69653	11,76801	10,79144	10,0158	62,44733	0	0	0	0
2005	07	21	04	29	39,99209	58,57255	17,4169	15,29858	52,30164	48,4375	61,91736	11,768	10,79055	10,02014	61,26368	0	0	0	0
2005	07	21	04	29	39,93658	58,22367	17,41928	15,24947	52,18628	48,729	61,94385	11,76054	10,78123	10,02252	62,42417	0	0	0	0
2005	07	21	04	29	39,94172	58,32286	17,41457	15,30103	52,40942	48,38245	61,75793	11,76796	10,78364	10,02072	61,20786	0	0	0	0
2005	07	21	05	29	39,993	58,5242	17,4162	15,30241	52,79443	48,61462	61,948	11,7691	10,78871	10,02264	61,15883	0	0	0	0
2005	07	21	05	29	39,99163	58,2726	17,41534	15,25604	52,724	48,72388	61,73719	11,76506	10,78891	10,02396	61,21244	0	0	0	0
2005	07	21	05	29	39,93958	58,31793	17,41625	15,25303	52,67749	48,43604	61,70581	11,76702	10,78065	10,02631	61,23834	0	0	0	0
2005	07	21	05	29	39,98966	58,37431	17,41703	15,30858	52,70972	48,39978	61,45142	11,75819	10,78695	10,034	61,1796	0	0	0	0
2005	07	21	05	29	39,99136	58,32425	17,41255	15,25351	52,67029	48,96948	61,52234	11,76119	10,7906	10,03713	62,45487	0	0	0	0
2005	07	21	05	29	39,99398	58,52408	17,41577	15,30023	52,87317	48,026	61,53784	11,76002	10,79403	10,04272	61,19988	0	0	0	0
2005	07	21	06	29	40,04264	58,27815	17,41583	15,25503	52,85803	47,40283	61,46521	11,75967	10,79173	10,03613	61,17127	0	0	0	0
2005	07	21	06	29	40,04034	58,47371	17,41706	15,30387	52,89514	47,83716	61,3562	11,7577	10,79464	10,04272	61,18767	0	0	0	0
2005	07	21	06	29	40,03907	58,37056	17,41609	15,29823	53,33777	47,94739	61,46814	11,75274	10,79677	10,04456	61,13892	0	0	0	0
2005	07	21	06	29	40,08865	58,22091	17,41755	15,3077	53,16223	48,4397	61,47815	11,74831	10,80208	10,05062	61,21051	0	0	0	0
2005	07	21	06	29	40,04165	58,22815	17,41745	15,30403	53,23694	48,30444	61,58128	11,75258	10,80632	10,05568	61,25241	0	0	0	0
2005	07	21	06	29	40,13937	58,37383	17,417	15,3	53,11108	47,76794	61,35034	11,74068	10,80986	10,05853	61,2476	0	0	0	0

Tabelle 19: Auszug aus Rohdaten der Analytik am Standort Gumpenstein

datum	brutto	tara	netto	na	nb	ca	amg	c	no2	no3	po4	so4	p mikrogr/liter	
13-Jän-06	18,63	1,53	17,1	1,102	0	0	28,11	4,15	0,08	0,004	2,385	0,001	66,214	11,29
20-Jän-06	3,66	1,53	2,13	1,069	0	0,096	30,254	4,231	0,063	0,007	2,205	0	69,232	11,7
24-Feb-06	2,605	1,53	1,075	1,17	0,027	0,093	29,542	4,319	0,299	0,025	3,185	0,005	78,815	9,87
03-Mär-06	1,53	1,53	0	0,997	0,003	0,092	25,744	3,811	0,062	0,005	2,805	0	63,874	11,75
17-Mär-06	8,92	1,53	7,39	0,993	0	0	26,521	4,059	0,075	0,005	2,377	0	70,337	7,22
24-Mär-06	4,8	1,53	3,27	1,039	0,008	0,097	26,587	4,192	0,102	0,002	2,432	0	61,447	10,89
27-Mär-06	22,57	1,53	21,04	0,98	0,007	0,219	25,497	3,904	0,081	0,007	2,22	0,003	58,639	10,33
28-Mär-06	25,465	1,53	23,935	1,007	0,004	0,053	28,866	3,657	0,097	0,004	2,001	0,001	59,632	11,14
29-Mär-06	30,32	1,53	28,79	0,871	0,001	0,061	29,399	3,847	0,147	0,016	1,996	0,001	61,418	16,4
30-Mär-06	23,06	1,53	21,53	1,001	0,002	0,006	27,424	3,913	0,205	0,004	2,449	0,004	63,703	11,06
31-Mär-06	19,36	1,53	17,83	1,038	0	0,235	28,839	4,188	0,148	0,003	2,824	0,006	66,746	11,39
01-Apr-06	37,45	1,53	35,92	1,13	0,024	0,108	31,093	4,132	0,308	0,01	3,898	0	70,163	10,41
07-Apr-06	27,485	1,53	25,955	1,051	0,022	0,189	32,465	4,632	0,14	0,006	4,874	0	72,779	8,37
13-Apr-06	8,44	1,53	6,91	0,955	0	0,136	37,192	5,469	0,191	0,029	5,162	0	80,956	12,2
21-Apr-06	11,215	1,53	9,685	1,158	0,026	0,327	42,513	5,628	0,132	0,009	4,842	0,003	81,619	9,99
28-Apr-06	3,02	1,53	1,49	1,221	0,042	0,178	42,282	6,334	0,124	0,006	3,982	0,001	39,878	11,88
05-Mai-06	20,135	1,53	18,605	1,182	0,007	0,15	37,189	5,893	0,179	0,005	5,171	0,008	76,477	11,3
12-Mai-06	2,765	1,53	1,235	1,108	0,017	0,143	41,58	6,432	0,133	0,021	4,034	0,001	90,61	16
29-Mai-06	22,855	1,53	21,325	1,237	0,043	0,14	41,259	5,872	0,156	0,004	4,61	0	79,596	0
02-Jun-06	16,86	1,53	15,33	1,307	0,029	0,154	39,763	5,832	0,145	0,006	4,431	0	82,827	0
06-Jun-06	37,38	1,53	35,85	1,302	0,04	0,185	40,355	5,768	0,156	0,007	3,603	0,006	111,101	0
09-Jun-06	11,415	1,53	9,885	1,228	0,039	0,111	39,26	5,605	0,16	0,008	3,064	0,001	95,783	0
16-Jun-06	5,73	1,53	4,2	1,374	0,132	0,026	46,162	5,892	0,139	0,011	2,095	0	116,365	0
20-Jun-06	35,805	1,53	34,275	2,977	0,058	0,149	29,892	1,431	10,148	0,014	41,185	0,001	5,515	0
23-Jun-06	7,61	1,53	6,08	1,463	0,168	0,219	43,154	6,471	0,144	0,006	2,36	0,001	80,227	0
30-Jun-06	7,68	1,53	6,15	1,367	0,216	0,219	46,135	6,696	0,148	0,008	2,141	0,001	81,389	0