



Universität für Bodenkultur
Department für Bautechnik und Naturgefahren
Institut für Angewandte Geologie

Einfluss von Gesteinsmehl auf die Emission von treibhausrelevanten Spurengasen aus Kompost

Masterarbeit
zur Erlangung des akademischen Grades
Master of Science („MSc“)

eingereicht von:
Elisabeth Pfeffer

1. Betreuer:
Ao. Univ. Prof. Mag.rer.nat. Dr.nat.techn. Franz Ottner

2. und 3. BetreuerInnen:
Univ. Prof. Dr.phil. Sophie Zechmeister-Boltenstern
Ao. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr.agr. Jürgen K. Friedel

Wien, September 2013

„Ohne Steinmehl ist der organisch-biologische Landbau undenkbar!“

(Hans Müller)

Danke

Ich bedanke mich bei meinem Betreuer Prof. Franz Ottner für seine Hilfe bei dieser Arbeit und für die Erfahrungen, die ich unter seiner Leitung sammeln durfte.

Bei meinen Mitbetreuern Prof. Sophie Zechmeister-Boltenstern und Prof. Jürgen Friedel bedanke ich mich für ihre Unterstützung und Hilfestellungen.

Besonders danke ich meiner Familie, die mich immer in dem, was ich tat, bestärkte und mir ihre Unterstützung gab.

Zwei wichtige Personen, denen ich von Herzen danke, sind mein Partner Stefan und meine Tochter Clara. Sie bringen Fröhlichkeit in mein Leben und unterstützten mich während dieser Arbeit mit Zeit und Geduld.

Für die Mithilfe bei den Analysen meiner Proben, aber vor allem für die Unterstützung und aufmunternden Worte bedanke ich mich bei Theresa, Maria, Karin und Stefan.

Barbara Kitzler und Christine Gritsch, sowie den Mitarbeitern des Labors der Bodenkunde an der BOKU Wien danke ich für ihre Hilfestellungen bei den Treibhausgasmessungen.

Ich bedanke mich bei allen Firmen, welche mir Probematerial zur Verfügung gestellt haben.

Ein großer Dank gebührt meinen Freunden, die mich zwischendurch immer mit ausreichend Abwechslung versorgt haben.

Kurzfassung

In dieser Arbeit wurden Gesteinsmehle und ihre Wirkung auf die Emission treibhausrelevanter Gase aus Kompost untersucht. Fünfunddreißig Gesteinsmehle, darunter 15 vorwiegend karbonathältige Gesteinsmehle und 20 vorwiegend silikathältige Gesteinsmehle wurden getestet.

Im Labor des geologischen Instituts der BOKU wurde der Gesamtmineralbestand der Gesteinsmehle mittels Röntgendiffraktometrie bestimmt. Zusätzlich wurden Korngrößenverteilung und ausgewählte chemische Parameter wie pH-Wert, Karbonatgehalt und die elektrische Leitfähigkeit ermittelt.

Für die Messung der treibhausrelevanten Gase CH_4 , CO_2 , N_2O , NO und NO_2 wurden zwei verschiedene Komposte der Firma Sonnenerde und der MA48 der Stadt Wien herangezogen und fünf verschiedene Gesteinsmehle ausgewählt.

Die Kompostproben wurden mit den unterschiedlichen Gesteinsmehlen durchmischt und unterschiedlichen Wassergehalten (40% und 70% WFPS) und unterschiedlichen Temperaturen (5° C, 12° C, 19° C und 26° C) ausgesetzt.

Die beiden Komposte unterschieden sich signifikant in der Entwicklung treibhausrelevanter Gase. Bei den CO_2 Werten zeigte der Kompost der MA48 die höchsten Werte, wogegen bei den Stickoxiden der Kompost der Firma Sonnenerde die höheren Werte erzielte.

Steinmehl hatte einen signifikanten Einfluss auf die Entwicklung von CO_2 . Durch das Beimengen von feinkörnigem Gesteinsmehl konnte die Freisetzung aller gemessenen treibhausrelevanter Gase reduziert werden.

Abstract

Fluxes of N₂O, NO, NO₂, CO₂ and CH₄ were measured on compost samples from two different sites in Austria mixed with five different stone dusts. Before the measurements, 35 different stone dust samples were analysed.

The bulk mineral content was determined by X-Ray diffraction. Chemical analyses included pH-value, carbonate content and electric conductivity. Grain size tests were made by a combination of wet sieving and sedimentation analysis.

In a two factorial experimental design, the sieved compost samples were kept under different conditions with respect to temperature (5 °C, 12 °C, 19 °C and 26 °C) and moisture (40% and 60% water filled pore space).

Our aim was to test whether the application of different stone dusts could reduce trace gas emissions. In addition we assessed the influence of temperature and moisture on the gas fluxes.

Four replicate compost samples from each sampling were incubated at four different temperatures for nine hours of continuous NO_x and CO₂ measuring, followed by N₂O and CH₄ determination.

The different composts showed differences in their greenhouse gas emissions at the same moisture and temperature conditions. Sonnenerde compost emitted most N₂O and MA48 compost most CO₂.

Stonedust was reducing greenhouse gas emissions with a significant reduction in the case of CO₂.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Problemstellung.....	1
2	Zielsetzung.....	3
3	Einführung in die Thematik	5
3.1	Gesteinsmehl.....	5
3.1.1	Ausgangsmaterial	5
3.1.1.1	Urgesteinsmehl.....	6
3.1.1.2	Tonmehl.....	7
3.1.1.3	Kalkmehl.....	10
3.1.2	Verwitterung.....	10
3.1.3	Korngröße	11
3.1.4	Gesteinsmehle und ihnen zugeschriebene Wirkungen.....	12
3.1.4.1	Urgesteinsmehle und ihre Nährstoffverfügbarkeit.....	12
3.1.4.2	Urgesteinsmehl: Wirkung auf pH-Wert	14
3.1.4.3	Wirkung der Korngröße des Gesteimes.....	14
3.1.4.4	Wirkung von Tonmehl.....	15
3.1.4.5	Wirkung von Kalkmehl.....	15
3.1.5	Gesteinsmehl in der ökologischen Landwirtschaft.....	16
3.2	Kompost.....	16
3.2.1	Kompostierung	17
3.2.2	Rotteprozess	17
3.2.3	Gesetzliche Qualitätsanforderungen und erlaubte Zuschlagstoffe bei der Kompostierung.....	18
3.2.4	Kompostanwendungen im biologischen Landbau	19
3.2.5	Gesteinsmehle bei der Kompostierung	19
3.3	Treibhausgase.....	20
3.3.1	Kohlendioxid.....	21
3.3.2	Distickstoffoxid (N ₂ O) in der Atmosphäre	22
3.3.3	Treibhausgase bei der Kompostierung	23
3.3.4	Wirkung von Gesteinsmehl auf die Entwicklung treibhausrelevanter Gase.....	24
4	Datengrundlage, Material und Methoden	27
4.1	Probenmaterial.....	27
4.1.1	Gesteinsmehl.....	27
4.1.2	Kompost.....	29
4.1.2.1	Sonnenerde von Gerald Dunst	29
4.1.2.2	MA48 Kompost	30

4.2	Untersuchungen der Gesteinsmehle	30
4.2.1	Wassergehalt	31
4.2.1	pH-Wert.....	31
4.2.1	Leitfähigkeit	31
4.2.2	Gesamtmineralanalyse	31
4.2.3	Korngrößenanalyse.....	31
4.2.4	Karbonatbestimmung nach Scheibler.....	32
4.2.5	Simultan-Thermoanalyse (STA).....	32
4.3	Treibhausgasmessung.....	32
4.3.1	Versuchsaufbau	33
4.3.2	Probenpräparierung.....	34
4.3.3	Inkubator	36
4.3.1	CO ₂ und NO _x Messungen	37
4.3.2	N ₂ O und CH ₄ Messungen.....	38
5	Ergebnisse und Interpretation	41
5.1	Eigenschaften der Gesteinsmehle	41
5.1.1	Wassergehalt	41
5.1.2	pH-Wert.....	41
5.1.3	Leitfähigkeit	46
5.1.4	Gesamtmineralanalyse	48
5.1.4.1	Karbonathältige Gesteinsmehle	48
5.1.4.2	Granitfamilie/ Gneis	54
5.1.4.3	Basalt/ Diabas	56
5.1.4.4	Diverse Gesteine.....	57
5.1.1	Korngrößenanalyse.....	61
5.1.1.1	Karbonathältige Gesteinsmehle	61
5.1.1.2	Silikathältige Gesteinsmehle.....	65
5.1.1.3	Korngrößeneinteilung nach Median.....	71
5.1.1.4	Korngrößen der Gesteinsmehle für die Treibhausgasmessungen.....	72
5.2	Treibhausgasmessungen.....	73
5.2.1	CO ₂ , NO und NO ₂	73
5.2.1.1	Block.....	73
5.2.1.2	Kompost Sonnenerde im Vergleich zu Kompost MA48	77
5.2.1.1	Feuchtigkeit.....	80
5.2.1.2	Temperaturanstieg	83
5.2.1.3	Steinmehl.....	88
5.2.2	Methan, Lachgas	93

6	Schlussfolgerungen und Diskussion	95
7	Literaturverzeichnis	99
8	Abbildungsverzeichnis	107
9	Tabellenverzeichnis	115
10	Anhang.....	117

1 Einleitung und Problemstellung

Das Leben auf der Erde wird erst durch einen natürlichen Treibhauseffekt, welcher einen Temperaturanstieg bewirkt, ermöglicht. Durch den anthropogen verursachten Treibhauseffekt wird ein starker Anstieg der Treibhausgase CO₂, CH₄, N₂O sowie der fluorierten Kohlenwasserstoffe bewirkt, was sich unter anderem auf die globale Durchschnittstemperatur der Erdoberfläche, die Höhe und Verteilung der Niederschläge und auf die Häufigkeit, mit der extreme Witterungsereignisse auftreten, auswirkt (IPCC, 2001). Bis zu 80% des anthropogen verursachten Lachgases (N₂O) werden aus der Landwirtschaft emittiert, wobei Böden die größte Quelle darstellen (KROEZE & MOSIER, 2002). Als Hauptverursacher wird die N-Düngung gesehen (MOISER et al. 1998, IFA und FAO, 2001).

Diese N-Verluste in die Atmosphäre bedeuten gleichzeitig Nährstoffverluste für den landwirtschaftlichen Betrieb. Als verfügbare Schlüsseltechnologie zur Emissionsminderung wird unter anderem die Kompostierung von organischen Abfällen angegeben (IPCC, 2007).

Ein biologisch wirtschaftender Betrieb, welcher in einer Kreislaufwirtschaft agiert, kann Nährstoffverluste nur schwer ausgleichen. Die EU-Bioverordnung schreibt zum Thema Kreislauf und biogene Abfälle: „Der ökologische / biologische Landbau sollte in erster Linie erneuerbare Ressourcen in lokal organisierten landwirtschaftlichen Systemen nutzen. Um so wenig wie möglich auf nicht erneuerbare Ressourcen zurückzugreifen, sollten Abfälle und Nebenerzeugnisse pflanzlichen und tierischen Ursprungs verwertet werden, um den Anbauflächen die Nährstoffe wieder zuzuführen.“, (BIOVERORDNUNG 2007).

Zur Verbesserung der Kompostqualität wird unter anderem Steinmehl als Zusatzstoff verwendet. Gesteinsmehl findet in der biologischen Landwirtschaft Verwendung und ihm werden vielseitige Wirkungen, wie Düngwirkung oder Bindung von Nährstoffen (Schutz vor Auswaschung bzw. Ausgasung) zugeschrieben.

Die Wirkungen von Gesteinsmehl sind umstritten und oft nur schwer nachweisbar. Die geruchsmindernde Wirkung von Gesteinsmehl, eingemischt in Kompost, wird von einigen Steinmehlerzeugern versprochen und steht auch in vielen Gärtnerbehelfen beschrieben. Wissenschaftliche Studien über die Minderung von treibhausrelevanten Gasen beim Kompostieren durch Steinmehl gibt es kaum.

2 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist herauszufinden, ob Gesteinsmehl, eingemischt in fertigen Kompost, einen Einfluss auf die Entwicklung treibhausrelevante Gase hat.

Weiters soll recherchiert werden, welche Gesteinsmehle in Österreich angeboten werden und wie sie sich in ihrer mineralogischen Zusammensetzung und Korngrößenverteilung unterscheiden. Bei den chemischen Eigenschaften der Gesteinsmehle soll die Leitfähigkeit, der pH-Wert und der Karbonatgehalt verglichen werden.

In einem mehrwöchigen Versuch soll festgestellt werden, ob Gesteinsmehl, eingemischt in fertigen Kompost, einen Unterschied in der Entwicklung treibhausrelevanter Gase bewirkt.

Um einen möglichen Einfluss des Kompostes auf die Entwicklung treibhausrelevanter Gase zu erkennen, sollen zwei Komposte zum Vergleich herangezogen werden.

Ein weiteres Ziel dieser Arbeit ist, ersichtlich zu machen, wie sich die treibhausrelevanten Gase bei steigender Temperatur entwickeln.

Auch der Einfluss des Wassergehalts soll getestet werden, indem die Proben auf zwei verschiedene WPFS (wassergefüllten Porenraum) eingestellt werden.

Durch die Messung der treibhausrelevanten Gase soll erkennbar werden, ob ein Unterschied zwischen der Variante ohne Steinmehl und den Varianten mit Steinmehl besteht bzw. ob zwischen den verschiedenen Steinmehlvarianten ein Unterschied in der Entwicklung treibhausrelevanter Gase besteht.

3 Einführung in die Thematik

Die Anwendung von Gesteinsmehl in der ökologischen Landwirtschaft ist bekannt und wird unter anderem bei der Kompostierung praktiziert. Gesteinsmehle werden aus diversen Gesteinen hergestellt und in verschiedenen Korngrößenverteilungen angeboten. Dem Steinmehl werden unterschiedlichste Wirkungen, wie Düngewirkung oder Geruchsbindung zugeschrieben.

3.1 Gesteinsmehl

Unter dem Begriff Gesteinsmehl wird pulverisiertes Gestein mit einer Korngröße unter 0,2 mm verstanden, so der FACHVERBAND FÜR BODENFRUCHTBARKEIT UND BODENSCHUTZ DES BMLFUW. Auf Grund der mineralogischen Zusammensetzung können weitere Differenzierungen der Gesteinsmehle vorgenommen werden. Pulverisierte Gesteine mit einem hohen Silikatanteil werden oft als Urgesteinsmehl benannt.

In der österreichischen DÜNGEMITTELVERORDNUNG wird ausdrücklich zwischen silikathältigem Gesteinsmehl und Kalkmehl unterschieden. Karbonathältiges pulverisiertes Gestein wird auf Grund seines hohen Nährstoffgehaltes als Düngemittel deklariert. Silikathältiges Gesteinsmehl ist als Bodenhilfsstoff aufgelistet und wird in Basaltmehl und Tonmehl untergliedert. In der österreichischen KOMPOSTVERORDNUNG werden Gesteinsmehl, Kalk- und Tonmehl getrennt angeführt und als Zuschlagstoffe bezeichnet.

3.1.1 Ausgangsmaterial

Gesteine werden in die drei Hauptgruppen Magmatite, Sedimentgesteine und Metamorphite unterteilt. Magmatite entstehen durch das Aufsteigen von Magma, entweder plutonisch oder vulkanisch. Sedimentgesteine sind Verwitterungsprodukte vorhandener Gesteine, bzw. chemisch biogen entstandene Gesteine und Metamorphite sind durch Druck und Hitze umgewandelte Gesteine.

Gesteinsmehle werden in der Literatur meist in Urgesteinsmehle, Tonmehle und Kalkmehle unterteilt, wobei keiner der Begriffe in der Geologie Verwendung findet. Der Literaturteil dieser Arbeit behält die Aufteilung in Urgesteinsmehl, Tonmehl und Kalkmehl bei, wobei die Rubriken Urgesteinsmehl und Tonmehl vor allem Gesteinsmehle mit hohem Anteil silikathältiger Mineralien beinhalten und die Rubrik Kalkmehl karbonathältige Gesteine beschreibt.

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird nach dem Literaturteil in dieser Arbeit von silikathältigen und karbonathältigen Gesteinsmehlen gesprochen. Mit silikathältig und karbonathältig ist der Mineralhauptbestandteil des pulverisierten Gesteines gemeint. Jedoch schließt ein silikathältiges Gesteinsmehl nicht karbonathältige Komponenten aus und umgekehrt.

3.1.1.1 Urgesteinsmehl

Oft als Urgestein deklariert werden silikathältige Gesteine als das gebräuchliche Gesteinsmehl in der ökologischen Landwirtschaft gesehen (GOTTSCHELL, 1992).

Den Gesamtmineralbestand der Gesteine auf der Erde machen mit 91,6% Silikatminerale (Plagioklase, Quarz, K-Feldspat, Pyroxene, Glimmer, Amphibole, Tonminerale und Olivin) aus. Magmatische Gesteine bestehen zum Großteil aus Silikatmineralen. Wie in Tabelle 3-1 ersichtlich machen magmatische Gesteine 86% des Gesteinsbestandes der Erde aus. Alle Gesteine können Silikatminerale enthalten, d.h. auch im Kalk können z.B. Spuren von Quarz sein. Unter Urgesteinsmehl werden jedoch meist magmatische und metamorphe Gesteine mit einem hohen Anteil an Silikatmineralen verstanden.

Tabelle 3-1: Mittlerer Chemismus, Mineral- und Gesteinsbestand der Erdkruste (Masse $2,85 \cdot 10^{19}t$)

Chemismus Oxide	Masse-% ^{a)}		Elemente			Mineralbestand		Gesteinsbestand ^{b)}	
	Masse-%	Vol.-%	Masse-%	Vol.-%	Vol.-%	Vol.-%	Vol.-%		
SiO ₂	57,6	52,5	O	47,0	86,2	Plagioklase	39	Basalte, Gabbros u.a. basische Magmatite	42,6
Al ₂ O ₃	15,3	10,5	Si	26,9	0,32	Quarz	12	Gneise	21,4
Fe ₂ O ₃	2,5	4,0	Al	8,1	0,55	K-Feldspäte	12	Granodiorite, Diorite und Syenite	11,6
FeO	4,3		Fe ³⁺	1,8	0,32	Pyroxene	11		
MgO	3,9	3,3	Fe ²⁺	3,3	1,08	Glimmer	5	Granite	10,4
CaO	7,0	11,1	Ca	5,0	3,42	Amphibole	5	kristalline Schiefer	5,1
Na ₂ O	2,9	2,8	Mg	2,3	0,60	Tonminerale	4,6	Tone, Tonschiefer	4,2
K ₂ O	2,3	4,6	Na	2,1	1,55	Olivine	3	Carbonatgesteine	2,0
TiO ₂	0,8	-	K	1,9	3,49	Calcit, Dolomit	2,0	Sande, Sandsteine	1,7
CO ₂	1,4	-				Magnetit	1,5	Marmor	0,9
H ₂ O	1,4	-				andere Minerale	4,9		
MnO	0,16	-							
P ₂ O ₅	0,22	-							

^{a)} Die 2. Spalte gibt die mittlere Zusammensetzung oberflächennaher Gesteine an (HUDSON, 1995).

^{b)} Die Vormacht basischer Gesteine beruht auf der flächenmäßigen Vormacht der ozeanischen Kruste.

Quelle: Lehrbuch der Bodenkunde (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 2002).

Bei den magmatischen Gesteinen findet man die Unterscheidung zwischen saurem und basischem Gestein. In der Geologie hat die Bezeichnung basisches und saures Gestein jedoch nichts mit dem pH-Wert, sondern mit dem Silikatanteil zu tun (HALL, 1996). Basische Gesteine haben einen niedrigeren Silikatanteil und saure Gesteine einen höheren Anteil an SiO_4 , z.B. hohen Quarzanteil im Granit.

Basalt, Diabas, vulkanische Asche sind bekannte „Urgesteine“ aus dem basischen Bereich der Vulkanite. Im Gegensatz dazu kommen die üblichen Vertreter des sauren Bereichs bei den handelsüblichen Gesteinsmehlen von den Plutoniten, wie z.B. der Granit oder Granodiorit. Diorit und Gabbro sind Vertreter der Plutonite im basischen Bereich und Quarzporphyr ist ein Vertreter der sauren Vulkanite. Jedoch fielen die Gruppen der basischen Plutonite und der sauren Vulkanite in den Recherchen über Gesteinsmehl nicht sonderlich auf.

Bei der Metamorphose wird auf ein vorhandenes Gestein Druck und Temperatur ausgeübt, wodurch es zu einer Umwandlung des Gesteins kommt und auch Mineralien neu gebildet werden können. Granit wandelt sich so in einen Orthogneis um, und Basalte werden zu Amphibolite oder Grünstein. Aus Sedimentgesteinen werden Schiefer (Ton-, Glimmerschiefer), Phyllite, Paragneise oder Quarzite bzw. aus den Sedimentgesteinen Kalkstein und Dolomit entsteht der Marmor (PRESS & SIEVER, 1995).

Bei der Mineralneubildung während der Metamorphose entsteht z.B. Glimmer, ein Schichtsilikat, welches zu Tonminerale weiterverwittern kann, oder auch das Dreischichttonmineral Chlorit. Die Tonminerale werden im nächsten Absatz besprochen.

3.1.1.2 Tonmehl

Tonmehl besteht zum Großteil aus Tonminerale. Minerale sind homogene Festkörper, die durch natürliche Vorgänge entstehen und maßgebend an der Bildung von Gesteinen beteiligt sind (PRESS & SIEVERS, 1995).

3.1.1.2.1 Aufbau der Tonminerale

Die Tonminerale gehören in die Gruppe der Schichtsilikate. Grundbestandteile der Tonminerale sind die 3 Bauelemente Tetraeder, Oktaeder und Zwischenschicht.

SiO_4 -Tetraeder, in denen alle vier Ecken mit einem Sauerstoffion belegt sind, werden zu einer Fläche verknüpft und bilden dadurch Tetraederschichten (T-Schichten). Auch die Oktaeder werden über gemeinsame Eckpunkte zu einer Oktaederschicht (O-Schichten) verknüpft. Die Oktaeder bilden sich aus einem Zentralion (Al, Mg oder Fe), das von sechs

O- bzw. (OH)⁻-Ionen umgeben wird. Bei den Tonmineralen sind die T-Schichten und O-Schichten miteinander zu Zwei-, Drei- oder in besonderen Fällen zu Vierschichtstrukturen verknüpft, was als Elementarschicht bezeichnet wird.

Jedes Tonmineral besteht aus einer spezifischen Abfolge von Elementarschichten. Zwischenschichten trennen die Elementarschichten der Tonminerale und können mit Kationen und/oder Wasser belegt oder leer sein. Im Gegensatz zu den starken Atombindungen in den Elementarschichten wirken in den Zwischenschichten wesentlich schwächere Ionenbindungen, was unter anderem durch die Spaltbarkeit der Schichtsilikate deutlich wird (HEIM, 1990).

3.1.1.2.2 Entstehung der Tonminerale

Tonminerale sind Sekundärminerale und entstehen aus der Um- und Neubildung von, aus der Magma unter Druck und Temperatur entstandenen Primärmineralen. Wie in Abbildung 3-1 ersichtlich, kann durch Verwitterung aus dem Primärmineral Glimmer das Sekundärmineral Smektit entstehen.

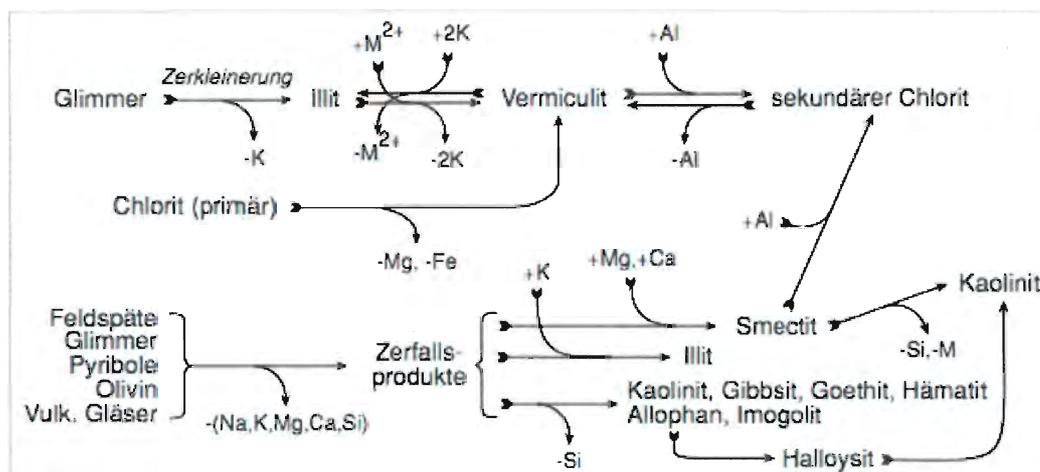


Abbildung 3-1: Bildungs- und Umbildungspfade der Tonminerale aus Lehrbuch der Bodenkunde (Scheffer & Schachtschabel, 2002)

3.1.1.2.3 Spezielle Tonmineralogie

Zu den Zweischichtmineralen zählen die Kaolinitgruppe und die Serpentinittgruppe. Beide Tonmineralgruppen haben keine Ladung, keinen isomorphen Ersatz, sind chemisch sehr stabil und haben keine Zwischenschichten. Das Fehlen der Zwischenschichten verhindert die Möglichkeit, Wasser oder Nährstoffe einzulagern.

Die Illit-, Smektit- und Vermikulitgruppen gehören zu den Dreischichtmineralen.

Alle drei Dreischichtmineralgruppen sind geladen und haben einen isomorphen Ersatz in den Tetraeder und Oktaeder (HALL, 1970). Die Smektit- und Vermikulitgruppen sind chemisch mäßig stabil und besitzen eine hohe Plastizität und Quellfähigkeit. Sie können also Wasser in die Zwischenschicht aufnehmen. Zudem ist das K^+ in der Zwischenschicht variabel und austauschbar (KAK), wogegen die Illitgruppe nicht quellfähig ist und chemisch relativ stabil (MILLOT, 1970).

Die Chloritgruppe zählt zu den Drei-/Vierschichtmineralen, ist chemisch sehr labil und nicht quellfähig (HEIM, 1990).

3.1.1.2.4 Eigenschaften der Tonminerale

Tonminerale haben eine hohe spezifische Oberfläche. Eine spezifische Oberfläche ist auf eine Gewichtseinheit bezogene Oberfläche (m^2/g) und nimmt mit abnehmender Korngröße zu (HEIM, 1990). So hat Schluff eine spezifische Oberfläche im Bereich von $1 m^2/g$, wogegen Ton auf Werte bis zu $1.100 m^2/g$ erreichen kann.

Eine weitere Eigenschaft der Tonminerale ist die Oberflächenladung, wobei zwischen permanenter und variabler Ladung unterschieden wird. Permanente Ladungen sind meist negativ, milieuunabhängig und werden durch Kationen in der Zwischenschicht ausgeglichen. Sie werden durch Substitutionen in der Struktur der Tonminerale verursacht. Variable Ladung bedeutet, dass die Schichtsilikate im höheren pH-Bereich Protonen abspalten (negative Ladung) und im sauren Milieu Protonen anlagern (positive Ladung). Sie treten vorwiegend an den Seitenflächen, Kanten und Ecken der Schichtsilikate auf.

Durch Oberflächenladungen können Kationen, Anionen und Wassermoleküle adsorbiert werden. Für Tone ist die Kationenadsorption von spezieller Bedeutung. Die Kationenaustauschkapazität (KAK) ist vom pH-Wert, der Korngröße, dem Strukturtyp und der individuellen Ausbildung des jeweiligen Tonminerals abhängig. Bei einem neutralen pH-Bereich ergeben sich KAK Werte von 3-15 mval/100g bei Kaolinminerale, bis 70-130 mval/100g bei Smektitminerale.

An den Rändern, Kanten und Ecken der Schichtsilikate kann es auch zum Austausch von Anionen kommen (HEIM, 1990).

Da Tonminerale eine hohe Ionenaustauschkapazität haben, steigt die Leitfähigkeit mit größerem Tonanteil. Grund für diesen Effekt ist die schichtförmige Struktur der Minerale

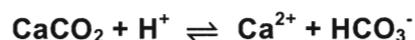
und ihre Oberflächenaktivität. Gebundenes Wasser oder absorbierte Ionen zwischen diesen Schichten bilden eine Doppelschicht und beeinflussen die Leitfähigkeit (SCHÖN, 1996).

3.1.1.3 Kalkmehl

Gemahlene karbonathaltige Gesteine werden als Kalkmehl bezeichnet. Karbonathaltige Gesteine sind Kalk, Dolomit und Marmor. Kalk und Dolomit sind chemisch biogene Sedimentgesteine. Sie können sehr wohl silikathaltige Mineralien als Nebenbestandteil vorweisen. Ihr Hauptanteil besteht jedoch aus CaCO_3 bzw. $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Durch die Metamorphose wandeln sich Kalk und Dolomit zu Marmor um.

Sedimentgesteine machen nur 8% der Erdkruste aus, jedoch bedecken sie 75% der Erdoberfläche und sind daher sehr wichtig für die Bodenbildung. Die Bodenbildung aus Karbonatgesteinen basiert auf der Lösung und Wegführung der Karbonate. Den Mineralbestand der gebildeten Böden (z.B. Rendzina) bildet der nichtkarbonatische Lösungsrückstand (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 2002).

Der Karbonat-Pufferbereich (pH 8,3 bis 6,2) puffert die Säuren, z.B. die Kohlensäure aus der Wurzel- und Zersetzeratmung oder auch starke Säuren, welche durch Nitrifikation gebildet werden. Die Säuren (H^+ Ionen) werden in karbonathaltigen Böden durch die Auflösung des Karbonates abgepuffert.



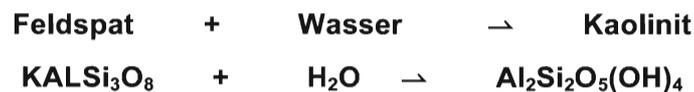
Je feiner das Kalkmaterial vorliegt, umso leichter wird z.B. der Boden in diesem Karbonat-Pufferbereich gehalten. Liegt CaCO_3 lediglich in Form von Kalksteinen vor, ist die Lösungsrate von CaCO_3 nicht hoch genug, um den Boden in diesem Puffersystem zu halten (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 2002).

3.1.2 Verwitterung

Neben der Humifizierung ist die Verwitterung der Gesteine der wichtigste stoffverändernde Prozess der Bodenbildung und umfasst physikalische, chemische und biotische Prozesse.

Durch die physikalische Verwitterung werden Gesteinsbruchstücke mechanisch beansprucht, abgerundet und Feinmaterial erzeugt. Dieser Vorgang geht umso schneller von statten, je weicher und leichter zerteilbar die einzelnen Mineralkörner sind. Feldspäte und Glimmer werden schneller zerkleinert als Quarz. Auf der Nordhalbkugel in den ehemaligen Glazialgebieten entsteht so eine große Menge an Feinmaterial, aus dem sich die Böden bilden (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 2002).

Bei der chemischen Verwitterung werden die Minerale in ihrem Chemismus verändert und Bestandteile aus der Festsubstanz herausgelöst. So wird bei der chemischen Verwitterung aus Feldspat das Tonmineral Kaolinit und gleichzeitig entsteht eine Lösung, welche jene Stoffe enthält, die aus der Festsubstanz gelöst wurden und die im unten angeführten Fall den für Pflanzen wichtigen Nährstoff K enthält (PRESS & SIEVER, 1995).



Gesteine mit höheren Gehalten an Kalifeldspäten, Glimmern oder Illiten enthalten meist einen höheren K-Gehalt. Höhere Mg-Gehalte kann man sich von chlorit- und tonmineral- oder dolomitreichen Gesteinen erwarten und einen höheren Ca-Gehalt von Carbonatgesteinen (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 2002).

Je größer die spezifische Oberfläche, umso größer die Wirkung der chemischen Verwitterung.

3.1.3 Korngröße

In der Bodenkunde und in der Geologie werden Bodenpartikel und Sedimentgesteine nach Korngrößen unterteilt (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 2002).

Die DIN 4022 Korngrößeneinteilung unterscheidet zwischen Ton (T), Schluff (U), Sand (S), Kies (G) und Steine (X), wie in Abbildung 3-2 gezeigt wird.

[μm]	ϕ	① DIN 4022			[mm]
63.000	-6	Cobble	Steine		63
32.000	-5	Gravel	Kies	grob	20
16.000	-4			mittel	6,3
8000	-3			fein	2
4000	-2	Sand	Sand	grob	0,63
2000	-1			mittel	0,2
1000	0			fein	0,063
500	1	Silt	Schluff (Silt)	grob	0,02
250	2			mittel	0,0063
125	3			fein	0,002
63	4	Clay	Ton		
32	5				
16	6				
8	7				
4	8				
2	9				

① Udden & Wentworth mod. nach Doeglas
 $\phi = \text{Phi-Grad} = -\log_2(d/d_0)$; $d = \text{Durchmesser}$, $d_0 = 1 \text{ mm Einheitsdurchmesser}$

Abbildung 3-2: Korngrößenskala aus geoLexikon

In der Bodenkunde werden den einzelnen Korngrößen physikalische und chemische Bodeneigenschaften zugeteilt. So haben Grobsandböden eine gute Durchlüftung und eine schnelle Erwärmung. Tonböden haben eine gute Retention der Nährstoffe gegen Auswaschung und eine gute Wasserretention (ROWELL, 1997).

3.1.4 Gesteinsmehle und ihnen zugeschriebene Wirkungen

Gesteinsmehle werden in der Landwirtschaft am Feld, im Wald, im Stall und der Gülle oder bei der Kompostierung eingesetzt. „Urgesteinsmehl“ findet vor allem in der ökologischen Landwirtschaft Verwendung. Dem Steinmehl werden unterschiedlichste Wirkungen zugeschrieben, z.B. Bodenverbesserung oder Düngewirkung, wobei der Nachweis der Wirkungen oft schwierig ist.

3.1.4.1 Urgesteinsmehle und ihre Nährstoffverfügbarkeit

Es wird vermutet, dass die Gesteinsart in Zusammenhang steht mit der Art und Menge der Nährstoffverfügbarkeit. Je nach mineralogischer Zusammensetzung des verwendeten Gesteins und dessen Verwitterung, der Korngrößenzusammensetzung des Gesteinsmehl und das Zusammenwirken mit Mikroorganismen (VAN STRAATEN, 2006).

VAN STRAATEN (2006) ist der Auffassung, dass die Verfügbarkeit verschiedenster Nährstoffe durch das Gesteinsmehl ein großer Vorteil für die Landwirtschaft darstellt. Weitere Vorteile sieht er in der Beeinflussung des pH-Wertes und der Kationenaustauschkapazität (KAK). Nachteile sieht VAN STRAATEN in der sehr langsamen Verfügbarkeit der Nährstoffe durch die Gesteinsmehle und den hohen Anteil an Gesteinsmehl, welcher ausgebracht werden muss, um eine Wirkung zu erzielen. Weiters merkt VAN STRAATEN an, dass ein großer Anteil des Gesteinsmehl ohne Nährstoffwert sein kann.

APPLETON (1990) beschreibt einige chemische Vorteile für den Boden bei der Verwendung unterschiedlicher Gesteinsmehle, im Besonderen phosphathaltige Gesteine, Ton aus Lehmböden und Gesteine mit hohem Feldspatanteil (K-Dünger).

Einige Studien beschäftigen sich mit Gesteinsmehl als Kalidünger, da Mineralien wie Feldspäte oder Glimmer einen hohen Kalianteil vorweisen. CORONEOS et al. (1996) zeigt einen stärkeren Pflanzenwuchs durch die Anwendung von kalihaltigem Gesteinsmehl. Nach 7 Wochen zeigte die Beimengung von Granitsteinmehl einen signifikant stärkeren Wuchs bei Klee.

BLUM et al. (1989) kam durch Laboruntersuchungen an fünf Gesteinsmehlen zu dem Ergebnis, dass Steinmehl nur eine geringe Düngewirkung aufweist und nicht sinnvoll ist. Vor allem durch die mineralogische Zusammensetzung und dem Vermahlungsgrad wird die Nährelementwirkung der Gesteinsmehle bestimmt, nur im geringem Maße von den Nährelementgesamtgehalten (BLUM et al. 1989).

AUBERT (1975) und HENNING (1981) propagieren die Verwendung von Steinmehl als einzige Methode, um den Boden nachhaltig ohne Erschöpfung fruchtbar zu erhalten.

FRAGSTEIN (1988) beschreibt das Verwitterungsverhalten verschiedener silikatischer Gesteinsmehle in Wasser und Salzsäure (1N) unter Laborbedingungen, wobei der pH-Wert, (aus Sicht der Pflanzenernährung) die Makroelemente Ca, Mg, K und Na sowie die Mikroelemente Fe, Mn, Cu und Zn betrachtet wurden. Untersucht wurden die Gesteinsarten Basalt, Diabas, Phonolith, Lava und Granit. Besonders die basischen Gesteinsarten neigen zu ausgeprägter Abgabe von Ca, Mg und Fe. Phonolithe zeigten eine hohe Freisetzung von Na, und Lava besitzt die höchste K-Mobilität. Bei den Mikroelementen wird Mn am leichtesten aus den Mineralen herausgelöst (FRAGSTEIN 1988).

LAATSCH (1938) erzielte auf armen Forstböden mit 150 t Basaltmehl pro ha gute Ergebnisse und führte dies auf das Basaltmehl als Nährstofflieferant, Nährstoffträger, Humuserhalter und Wasserspeicher zurück.

Basische Gesteinsmehle, wie z.B. Basalt, können langsam und nachhaltig Spurenelemente und Phosphor zuführen (KILLIAN, 1986).

Bei Zugabe von leichter verfügbaren Nährstoffen im Pflanzensubstrat (Bodenzugabe oder Mineraldüngung) ging der Nährstoffeffekt des Gesteinsmehles weitgehend verloren (RICHTER, 1974).

3.1.4.2 Urgesteinsmehl: Wirkung auf pH-Wert

Der pH-Wert wird durch unterschiedliche Gesteinsmehle beeinflusst. So soll durch die Beimengung von „basischem“ Gestein, wie z.B. Basalt, der pH-Wert stärker beeinflusst werden als durch die Beimengung von „saurem“ Gestein, wie z.B. Granit.

HINSINGER et al. (1996) beschreibt einen signifikanten Anstieg des pH-Wertes nach 60 Tagen Inkubation bei 6 von 20 sauren, stark verwitterten Böden West-Australiens, welche mit Granit behandelt wurden. Auch SILVA et al. (2005) bestätigt eine Anhebung des pH-Wertes durch Granitsteinmehl, wobei eingeräumt wird, dass eine hohe Menge notwendig ist im Vergleich zu üblichen pH-Wert anhebende Mittel. Im Gegensatz dazu beschreibt CORONEOS et al. (1996) keinen klaren Effekt auf den pH-Wert bei der Anwendung von Granitsteinmehl auf einem sandigen, sauren Podsol.

GILLMAN (1980) beschreibt einen Anstieg des pH-Wertes mit der Erhöhung des basaltischen Gesteinsmehlanteils bei stark verwitterten Böden. Dieser Effekt wurde durch die Feinheit der Korngröße und die längere Dauer der Inkubationszeit verstärkt.

3.1.4.3 Wirkung der Korngröße des Gesteinsmehles

Die Korngröße hat einen großen Einfluss auf die Verwitterungsintensität des Gesteinsmehls. Je kleiner die Partikel, umso größer die spezifische Oberfläche, an der Reaktionen stattfinden können (CAMPBELL, 2009). Je feiner der Staub, desto größer die wirksame, spezifische Oberfläche und damit die Verfügbarkeit der Inhaltsstoffe (KILLIAN, 1986).

WANG et al. (2000) zeigt eine signifikante Steigerung des Pflanzenwachstums unter Verwendung von Gneisgesteinsmehl mit einer Korngröße von 1-2 mm im Vergleich zu 2-5mm.

Den Effekt, welcher durch die Korngröße erzielt werden kann, behandelt auch BLUM et al. (1989a), indem er eine Verdopplung der leicht verfügbaren Elemente beschreibt durch die Reduktion der Korngröße eines vermahlenden Basaltes von einem Korngrößendurchmesser kleiner 2 mm auf kleiner 200 µm.

GILLMAN (1980) beschreibt eine Korrelation zwischen der Kationenaustauschkapazität (KAK) und dem Anteil Gesteinsmehl welcher kleiner als 125 µm ist.

3.1.4.4 Wirkung von Tonmehl

AGGARWAL et al. (1980) beschreibt einen Anstieg der Aggregatstabilität bei Sandböden durch das Einmengen von Bentonit. Bentonit ist ein smektithältiger Ton, der sehr quellfähig ist. Kaolinit, ein Tonmineral, welches nicht quellfähig ist, schnitt wesentlich schlechter ab.

REUTER & LÜDERT (1976) beschreiben eine Ertragssteigerung und Reduzierung von Kalium-Auswaschung durch die Beimengung von 7,5 t/ha Bentonit zu Quarzsand. Auch LHOTZKY (1976) fand bei Gaben von 20 t/ha eine Verminderung der Nährstoffauswaschung.

KOBUS (1979) berichtet von einer besser verteilten Kaliumaufnahme bei Zugaben von 2 und 4 Gew.% Bentonit.

3.1.4.5 Wirkung von Kalkmehl

Die in der landwirtschaftlichen Praxis übliche Kalkung mit Kalkmehl dient dem Zweck der allmählichen, langfristigen Aufbasung und Pufferung stark entbaster, saurer Böden (KILLIAN, 1986).

SINGH und DAHIYA (1976) beschreiben erhebliche Ertragssteigerungen bei Erbsen in Versuchen mit steigendem CaCO₃ Gaben zu einem leichten Ca-armen Sandboden.

ULRICH & MATZNER (1983) empfehlen, im Forst eine pH Anhebung von verarmten Böden mit Gesteinsmehlen, um einen Nährstoffmangel vorzubeugen. Dabei wurde die höchste Säureneutralisationskapazität (SNK) durch karbonathaltige Böden ermittelt.

3.1.5 Gesteinsmehl in der ökologischen Landwirtschaft

Urgesteinsmehle, meist aus silikatischem Gestein, sind ein Charakteristikum der ökologischen Landwirtschaft. Von manchen Vertretern der ökologischen Landwirtschaft wird der Begriff Steinmehl restriktiver angewandt (FRAGSTEIN, 1982).

Die Begründer der ökologischen Landwirtschaft Hans und Maria Müller, Hans Peter Rusch und auch Rudolf Steiner sahen die Wirtschaftsdüngerbehandlung und –anwendung als entscheidenden Aspekt der Bewirtschaftungsmethode. Im Vordergrund steht nicht nur der Ertrag, sondern im besondern Maße die Gesundheit von Boden, Pflanzen und Tiere.

Eine Aussage im Biolandbau besagt, dass der Boden gedüngt wird und nicht die Pflanze. Die Grundidee ist durch die Düngewirtschaft den innerbetrieblichen Nährstoffkreislauf zu schließen und die Bodenlebewesen zu mobilisieren. RUSCH (2004) spricht vom Kreislauf der lebenden Substanz.

Anwendung findet das Gesteinsmehl als Düngung, Bodenverbesserung, Pflanzenschutzmittel und in der Tierhaltung als Geruchsbinder und Belüfter von Gülle sowie auf Stallmist, wodurch Ammoniak gebunden werden soll. Dadurch würde auch die Gesundheit der Tiere gesteigert (BRAUNER 1974, MÜLLER 1976, AUBERT 1975).

In biologischen Anbausystemen werden silikatische Gesteinsmehle als nachhaltige, ausgewogene Bodenerneuerer bewertet (KELLER, 1948).

3.2 Kompost

Kompost leitet sich aus dem lateinischen *compostum* ab, was soviel wie Zusammengesetztes, Gemischtes bedeutet. Laut KOMPOSTGÜTEVERBAND ÖSTERREICH ist Kompost ein Rotteprodukt aus organischen Materialien pflanzlichen oder tierischen Ursprungs nach weitgehend abgeschlossener aeroben Rotte.

Komposte besitzen eine Humus- und Nährstoffwirkung, sowie eine phytosanitäre Wirkung und können der Wasserspeicherung und der Stabilisierung und Pufferung von Böden dienen.

3.2.1 Kompostierung

Die Kompostierung ist eine Behandlungsmethode, welche organische Abfälle biologisch stabilisiert und als Kompost verwertbar macht. Ziel der Kompostierung ist, die vorhandenen Düngestoffe im Kompost verbleiben zu lassen, so dass sie nicht gasförmig oder über das Bodenwasser entweichen können.

Bei der Kompostierung wird die organische Substanz unter Verbrauch von Sauerstoff (O_2) und unter Abgabe von Wärme zu Kohlendioxid (CO_2) und Wasser abgebaut und Huminstoffe werden aufgebaut. Ermöglicht wird die Kompostierung durch gemischte Bakterien- und Pilzpopulationen, deren Dichte und Zusammensetzung sich während des Kompostierprozesses verändert.

3.2.2 Rotteprozess

Der natürliche Rotteprozess beinhaltet eine Fülle von Ab-, Um- und Aufbauprozessen, welche in der Umwelt von alleine stattfinden. Bei der Kompostierung muss diesen Prozessen nachgeholfen werden, da es sich um eine intensive Ansammlung von organischer Substanz handelt und somit die optimalen Bedingungen für die Mikroorganismen durch Unterstützung erst geschaffen werden müssen.

Ziel eines gesteuerten Rotteprozesses ist ein verlustarmer Abbau der organischen Substanz und der Aufbau von stabilen organischen Verbindungen (LECHNER, 1993).

Bei der Rotte wird die organische Substanz von aeroben Mikroorganismen unter Sauerstoffaufnahme als Energie- und Nährstoffquelle verwertet. Kohlenstoff wird in die Zellsubstanz der Mikroorganismen festgelegt und als CO_2 freigesetzt. Dadurch entsteht Wärme. Beim Abbau werden niedermolekulare organische Säuren durch die Stoffwechselprodukte der Mikroorganismen gebildet, was ein Absinken des pH-Wertes zur Folge hat (LECHNER, 2005).

FLEMMING und FAULSTICH (1995) teilen die Kompostierung durch ihre Temperaturentwicklung in charakteristischen Phasen ein (Abbildung 3-3 a). In der 1. mesophilen und thermophilen Phase werden leichtabbaubare Komponenten abgebaut und es findet eine intensive Abbauphase statt. Die Abkühlungsphase kann auch als Stabilisierungsphase bezeichnet werden und hier werden mittelschwere abbaubare

Komponenten abgebaut. Erst in der 2. mesophilen Phase, oder auch Reifephase, werden die schwerabbaubaren Komponenten abgebaut.

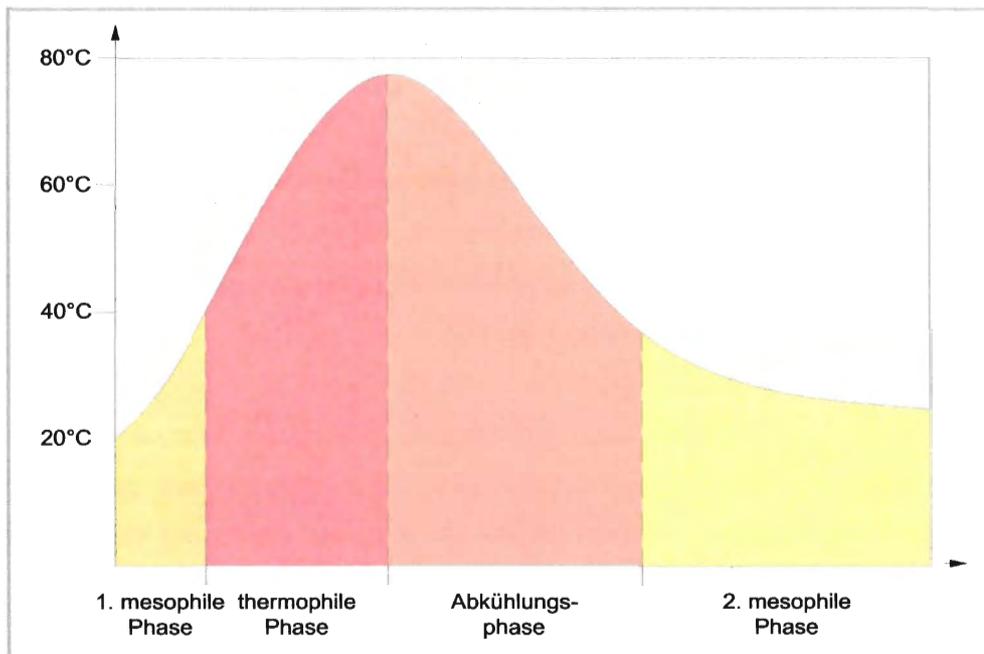


Abbildung 3-3: Phasen der Kompostierung (KÖRNER (2008), verändert)

3.2.3 Gesetzliche Qualitätsanforderungen und erlaubte Zuschlagstoffe bei der Kompostierung

Der Kompost liegt nach Abschluss der Rotte als neues Produkt vor, wenn die Regelungen der Kompostverordnung (Gehalt an Schadstoffen im Endprodukt) erfüllt sind. Die einzelnen Grenzwerte an Schwermetallen sind für drei verschiedene Qualitätsklassen (A⁺, A und B) festgelegt. Die Qualitätsklasse A⁺ beinhaltet Komposte mit den niedrigsten Schadstoffgehalten und diese dürfen in der biologischen Landwirtschaft verwendet werden. In der konventionellen Landwirtschaft müssen Komposte mindestens der Qualitätsklasse A entsprechen.

Kompostzuschlagstoffe sind organische oder mineralische Hilfsmittel, welche mengenmäßig meist eine untergeordnete Rolle spielen und zur Verbesserung des Rotteprozesses dienen (AMLINGER et al., 2005). Erlaubte Zuschlagstoffe sind in Tabelle 3-2 angeführt.

Tabelle 3-2: Teilauszug der erlaubten Zuschlagstoffe für die Herstellung von Qualitätskompost

Zuschlagstoffe	Materialien		Qualitätsanforderungen bzw. Bemerkungen
Gesteinsmehle	301	Basaltmehl	
	301	Diabasmehl	
	301	Lava-Mehl	
Tonmehle	301	unbelastete Tonmehle, zB Betonit	
Kalk	302	Düngerkalk, Ätzkalk	
	302	Karbonatationskalk aus der Zuckerindustrie	

Quelle: KOMPOSTVERORDNUNG, 2001

Die in Tabelle 3-2 angeführten Zuschlagstoffe dürfen mit einem maximalen Anteil von 5 Masseprozent zugemischt werden.

3.2.4 Kompostanwendungen im biologischen Landbau

In der biologischen Landwirtschaft ist das Kreislaufdenken die Basis vieler Richtlinien. So wenig wie möglich Nährstoffe sollen in den Betrieb neu eingebracht werden. Um dennoch genügend Dünger für die Kulturpflanzen zur Verfügung zu haben, ist die Kompostierung eine gute Möglichkeit für den Betrieb.

Die Bioverordnung bevorzugt die Düngung mit organischem Material in kompostierter Form, da so eine Stabilisierung der organischen Substanz gewährleistet ist. Die Anwendung von kompostierten tierischen Exkrementen und kompostierten biogenen Abfällen aus Haushalten ist im ökologischen Landbau erlaubt (BIOVERORDNUNG, 2007). Weiters ist die Zugabe von mineralischen Zusätzen wie z.B. Steinmehl zulässig.

3.2.5 Gesteinsmehle bei der Kompostierung

WEINGÄRTNER (1960) beschrieb den Einsatz von Schiefer und Schiefermehl und empfahl den Einsatz von Gesteinsmehlen in Substanzen, die verkompostiert werden, da nur hier eine „innige Berührung mit dem Bodenleben möglich ist“.

Durch die Beimengung von Biolit, ein Gesteinsmehl aus Diabas, wurde der Wassergehalt in der Kompostmiete herabgesetzt, wodurch trotz Erhöhung der Wasserzugabe im

Vergleich zur Kontrollvariante ohne Steinmehl nur suboptimale Bedingungen für Mikroorganismen herrschten und sich dadurch größere Mengen leicht abbaubarer Substanzen im Kompostmaterial befanden (FLEISCHMANN et al., 2009).

In einer Studie über Containertomaten zeigte sich, dass jene Kulturen, welche mit Basaltmehl eingemengt in Kompost behandelt wurden, früher in das vegetative Wachstum kamen als Vergleichskulturen (O'BRIEN et al., 1999). Des weiteren hebt das Basaltmehl den pH-Wert des Boden an.

Eine Studie aus Norwegen beschäftigt sich mit der Verwendung von kupfer- und zinkhaltigen Gesteinen als Kompostzusatz. Gesteinsmehl aus Gneis und Amphiboliten soll die Anforderungen von organischem Getreide an Kupfer, Zink und Mangan abdecken (SHIVAY et al., 2009). Dabei wurden die Mikronährstoffe Kupfer und Mangan von beiden Komponenten, Steinmehl und Kompost, geliefert. SHIVAY (2009) vermutet, dass die Verfügbarkeit des Zink aus dem Steinmehl durch den Kompost verbessert wird.

Durch die Beimengung von Zusätzen, wie z.B. Gesteinsmehl, in den Kompost, soll die Rotte gefördert werden (WAGNER, 2004).

In „Das Buch vom Steinmehl“ wird eine Gesteinsmehlmischung zur Kompostbereitung beschrieben, welche neben der Förderung der Rotte auch die Lebewesen, wie Bakterien und Würmer fördern soll (SNOEK, 1995).

GOTTSCHALL (1992) schreibt der Nährstoffwirkung des Kalziums durch Beimengung von Kalk zu Kompost größerer Bedeutung zu, als der Anhebung des pH-Wertes, da nur bei sehr wenigen Ausgangsmaterialien ein Anheben des pH-Wertes beim Kompostieren notwendig ist (GOTTSCHALL, 1992). Des weiteren beschreibt GOTTSCHALL die keimtötende Wirkung von Kalk und rät daher zu einer geringen Konzentration von unter 1% Masseanteil.

3.3 Treibhausgase

Die wichtigsten klimarelevanten Spurengase sind Wasserdampf (H_2O), Kohlendioxid (CO_2), Ozon (O_3), Distickstoffoxid (N_2O) und Methan (CH_4).

In der Landwirtschaft sind Kohlendioxid, Methan und Distickstoffoxid oder Lachgas die direkt wirksamen klimarelevanten Gase. Indirekt wirken Stickoxide (NO_x), Ammoniak (NH_3) und Kohlenmonoxid (CO), indem sie chemische Vorgänge in der Atmosphäre

beeinflussen und zur Bildung direkt wirksamen Spurengasen wie z.B. Ozon beitragen oder deren Lebensdauer beeinflussen (IPCC, 2001).

Das Treibhausgaspotenzial ist ein Maß für den Beitrag der Spurengase zur Abschirmung der von der Erdoberfläche ausgestrahlten Wärmestrahlung und wird relativ zum CO₂-Treibhauspotenzial gesehen. In Tabelle 3-3 werden die Treibhausgaspotentiale (GWP-Werte) der klimawirksamen Gase über einen Zeithorizont von 100 Jahren angeführt.

Tabelle 3-4: Treibhauspotentiale für einen 100 Jahre Horizont (IPCC, fourth Assessment Report, 2007)

Name	Chemische Formel	Treibhausgaspotential (kg CO ₂ -Äquivalente/kg Substanz)
Kohlendioxid	CO ₂	1
Methan	CH ₄	25
Distickstoffoxid	N ₂ O	298

Die klimarelevanten Gase Kohlendioxid, Lachgas und Methan sind für den Sektor Landwirtschaft von Bedeutung. Nach Untersuchungen von COLE et al. (1997) wird der Anteil der Landwirtschaft an der globalen Treibhausgasentwicklung von Kohlendioxid, Methan und Lachgas jährlich auf ca. 20% geschätzt (FAL, 2000).

3.3.1 Kohlendioxid

CO₂-Quellen in der Landwirtschaft sind der Verlust organischer Bodensubstanz und der Einsatz von fossiler Energie in der Landwirtschaft (FAL, 2000). Durch Technisierung und energieintensiven Anwendungen in der Landwirtschaft (Treibstoff, Mineraldünger, Futtermittelimporte) werden fossile Energien verbraucht und CO₂ freigesetzt. Die Verwendung von Kalk zur Bodenmelioration verursacht ebenfalls hohe CO₂ Emissionen. So wurde in einer Studie der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft in Deutschland eine CO₂ Emissionsrate von 314 kg CO₂ pro ha und Jahr auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen, welche gekalkt werden, errechnet (FAL, 2000). Der ökologische Landbau verursacht den Großteil seiner CO₂ Emissionen mit dem Dieselverbrauch und Kalkeinsatz, wobei im konventionellen Landbau die CO₂ Emissionen auf den Einsatz von mineralischem N-Dünger zurückzuführen ist (FAL, 2000).

CO₂ Senke in der Landwirtschaft ist die Biomasse, somit auch der Kompost, welcher zum Aufbau der organischen Bodensubstanz beitragen soll. Der Aufbau der organischen Substanz im Boden dauert 50 bis 100 Jahre, der Abbau jedoch nur ca. 10 Jahre. Damit soll verdeutlicht werden, wie wichtig es ist, im Ackerbau darauf zu achten, den Verlust der organischen Substanz im Boden zu vermeiden oder besser zu versuchen, den C-Pool im Boden zu erhöhen. Hier ist die Verknüpfung zwischen Boden- und Klimaschutz ersichtlich.

Die Verdrängung der Kompostwirtschaft in der Landwirtschaft wirkt sich negativ auf die Nachlieferung von organischer Substanz aus. Durch die steigende Intensität der Mineraldüngung kann sogar mit einer Abnahme des C-Gehaltes im Boden gerechnet werden (HAIDER, 1992; HAAS und KÖPKE, 1994; ENQUETE-KOMMISSION „SCHUTZ DER ERDATMOSPHERE“ DES DEUTSCHEN BUNDESTAGES, 1994).

Die organische Substanz wird durch mikrobielle Bodenrespiration zu CO_2 veratmet. Wird dem Boden nicht mindestens gleich viel C-Input zurückgeführt, wird der Boden zur CO_2 -Quelle. Durch verschiedenste Bewirtschaftungsmaßnahmen, wie unter anderem das Kompostieren, kann der C-Gehalt im Boden erhöht werden (COLE et al., 1997; FAL, 2000)).

3.3.2 Distickstoffoxid (N_2O) in der Atmosphäre

Neben industrieller Produktionsprozesse sind Land-, Abwasser- und Abfallwirtschaft die Hauptemissionsquellen für N_2O (UBA, 1994).

Lachgas beeinflusst neben dem Treibhauseffekt die Chemie der Stratosphäre, indem Lachgas die wesentliche Quelle von stratosphärischem NO_x , dem wichtigsten natürlichen Katalysator des Ozonabbaus in der homogenen Gasphase, ist (SCHMIDT, 1998).

Den größten Anteil der Lachgasemissionen verursachen mit 44% die kultivierten Böden und mit 22% die Düngungsmaßnahmen in der Landwirtschaft (IPCC, 1992; BRAUCH, 1996).

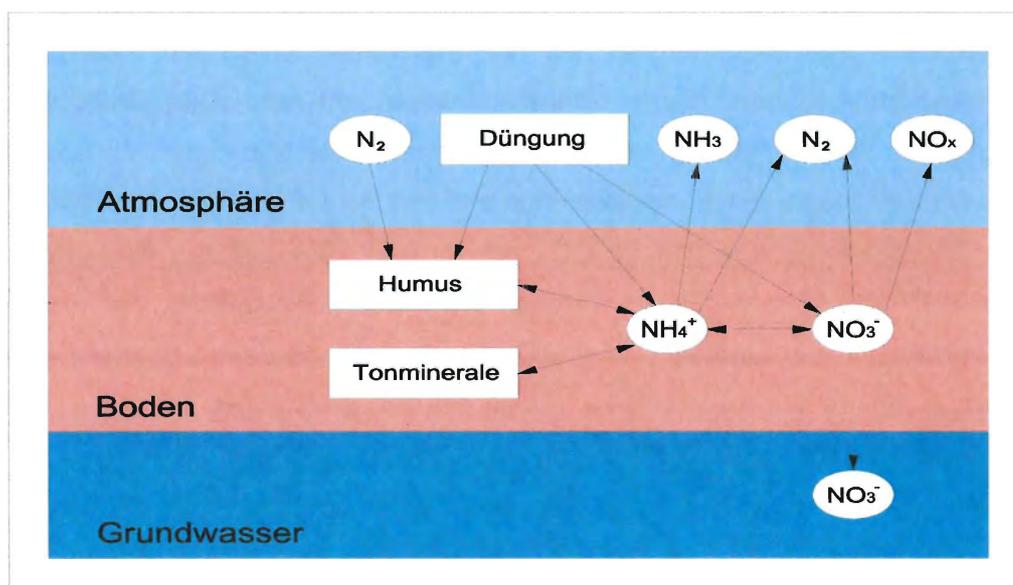


Abbildung 3-4: Vereinfachter, schematischer Stickstoffkreislauf (Nach HERRMANN und STAHR, 2000, verändert)

Neben Stickoxiden und Luftstickstoff entsteht Lachgas bei der mikrobiellen Umsetzung (Nitrifikation und Denitrifikation) von anorganischen Stickstoffverbindungen wie Ammonium (NH_4^+) und Nitrat (NO_3^-) in Böden. Durch die N-Zufuhr bei der Düngung ist eine erhöhte Lachgasproduktion zu erwarten (FAL, 2000).

Der größte Einfluss auf die Lachgasemissionen in der Landwirtschaft ist durch die Stickstoffdüngung zu erwarten (WILLIAMS et al, 1992). Für die Höhe des emittierten Lachgases ist die Menge des für die Mikroorganismen verfügbaren mineralischen Stickstoffs ausschlaggebend (SCHMIDT, 1998). Auch die Düngerart hat Einfluss auf die Lachgasemissionen, so sind mit sinkendem pH-Wert des Festmistes die Lachgasemissionen höher nach BREMNER (1997) und MOTZ (2002). Entscheidend auf die Emissionshöhe ist auch das Kohlenstoffangebot im Boden. SCHMIDT (1998) beschreibt höhere Emissionen bei ausreichendem Kohlenstoffangebot und engem C/N-Verhältnis des organischen Düngers.

SCHAUFLEER et al. (2010) beschreibt den Einfluss der Bodenfeuchte auf die Emissionsrate. Weiters wird auf eine positive Korrelation zwischen Lachgasemissionspotenzial und Bodentemperatur hingewiesen.

N_2O Emissionen aus dem Boden werden stark erhöht durch einen hohen Bodenwassergehalt, geringe Sauerstoffverfügbarkeit und einer hohen Verfügbarkeit an leicht abbaubaren organischen Substanzen und durch mineralischen Stickstoff (BEAUCHAMP, 1997).

Nach RICE et al. (1988) sind vor allem in der Anfangsphase des Abbaues des organischen Materials die Denitrifikationsverluste am höchsten, wenn eine hohe biologische Aktivität vorliegt.

3.3.3 Treibhausgase bei der Kompostierung

Die Kompostierung von organischen Abfällen wird als bereits verfügbare Schlüsseltechnologie und -praktik zur Emissionsminderung angegeben (IPCC, 2007). Sie kann zur Verminderung von Treibhausgasemissionen beitragen, da durch sie der anaerobe Abbau des organischen Materials verhindert wird.

Beim anaeroben Abbau entsteht Methan, ein sehr treibhauswirksames Gas (LOPEZ-REAL, 1996). Eine Unterversorgung der Mieten mit Sauerstoff begünstigt die Bildung von Methan. Die Vergrößerung des Porenvolumens und die Zufuhr von Sauerstoff

erhöht aerobe Prozesse und die Aktivität der anaeroben Methanbildner nimmt ab (CUHLS et al., 2008).

Während der Kompostierung können Stickstoffverbindungen ausgetragen werden, wobei sie als Nährstoffe verloren gehen und zu einer Umweltbelastung werden können. Im mesophilen Temperaturbereich bei ungünstigen Bedingungen für den Substratabbau entsteht Distickstoffoxid. Dies ist der Fall, wenn die Oxidation von Ammonium zu Nitrat (Nitrifikation) bzw. die Reduktion von Nitrit zu molekularem Stickstoff (Denitrifikation) nur unvollständig durchgeführt wird (CUHLS et al., 2008). Durch ausreichende Belüftung kann die Lachgasbildung reduziert werden (HELLEBRAND, 1999).

Ein Zusammenhang besteht auch zwischen dem C/N Verhältnis und den N₂O Emissionen (AMLINGER et al., 2005).

Ein Behandlungsziel bei der Kompostierung ist die Fixierung des Kohlenstoffes. Gleichzeitig wird durch Veratmung Kohlendioxid produziert (AMLINGER, 2003). Die CO₂ Emissionen korrelieren mit der Mientemperatur und sind Ausdruck der aeroben Abbauintensität (CUHLS et al., 2008).

3.3.4 Wirkung von Gesteinsmehl auf die Entwicklung treibhausrelevanter Gase

Die Entwicklung von Ammoniak wird durch die Beigabe von Steinmehl in die Gülle durch das Anheben des pH Wertes verstärkt, so CERCL AIR (2003).

Kalk (Kalziumkarbonat) erhöht den pH-Wert der Rotte und kann in der Abbauphase durch Bildung von flüchtigem Ammoniak statt des Ammoniumions zu Stickstoffverlust führen (GOTTSCHALL, 1992).

HAMAKER (1982) vermutet eine Remineralisierung des Bodens durch das Einmengen von glazialem Gesteinsmehl. Er beschreibt eine Erhöhung des Bodenmineralanteils, eine bessere Pflanzenqualität und weiters vermutet HAMAKER eine Treibhausgasreduktion von CO₂ durch die Verwendung von Gesteinsmehl.

In einer Studie über Schweinegülle kam es zu einer Reduktion von N₂O durch das Beimengen von Kalk in die Gülle. Der pH-Wert des Bodens wurde durch das Kalkmehl auf

>6,3 angehoben. Jedoch wurde mit einer 90%tigen Senkung von N_2O gleichzeitig eine Steigerung des NH_3 Verlustes beobachtet (MKHABELA et al., 2006).

Die Mineralisation von N ist gebunden an das C:N Verhältnis im Dünger (CHADWICK et al., 2011). Dünger hat oft ein enges C:N Verhältnis. Das Beimengen von Substanzen mit weitem C:N Verhältnis kann zu einer Immobilisierung von N und dessen Einbau in die biologische Substanz durch Mikroorganismen bewirken (VANDERZAAG et al., 2011).

NH_4 kann in Tonminerale eingebaut werden. Es besteht ein Gleichgewicht zwischen Ammonium in den Tonmineralen und in der Bodenlösung. Verändert sich dieses Gleichgewicht zu Ungunsten der Bodenlösung, z.B. durch NH_4^+ -Aufnahme der Pflanze, wird fixiertes Ammonium von den Tonmineralen wieder in die Bodenlösung abgegeben (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 2002).

SNOEK (1995) beschreibt in seinem Buch vom Steinmehl eine geruchsadsorbierende Wirkung von Gesteinsmehl beim Kompostieren. Durch feinste Gesteinsmehl- und Tonpartikel werden nach SNOEK flüchtige Bestandteile, wie z.B. Ammoniak oder NH_3 , an das Gesteinsmehl gebunden. Erst durch die Pflanzenwurzeln kann dieser Stickstoff wieder freigesetzt werden und geht so nicht als Nährstoff verloren (SNOEK, 1995).

In einer Arbeit über den Einfluß von mineralischen Zusätzen (Steinmehl und Tonmehl), wurde unter anderem die Stickstoffdynamik bei der Kompostierung von Hühnerkot, gemischt mit gehäckseltem Stroh, gemessen. Bei den durchgeführten Versuchen konnte keine Minderung der Stickstoffverluste durch Zumischen von Steinmehl erzielt werden. Jedoch wurden in einem zusätzlichen Reakterversuch die Abluftgase kontinuierlich gemessen. Hier konnte eine deutliche Verzögerung der NH_3 -Emission bei der Variante mit Steinmehl festgestellt werden. Diese Verzögerung dauerte 4 Tage an. Danach emittierte das Ammoniak wieder in Konzentrationen wie bei der Referenz. Die Ursachen dafür wurden jedoch nicht geklärt. Deutlich gefördert wurde der Nitrifikationsprozeß durch die Zugabe von Steinmehl (ZAIED, 1999).

Gesteine sind in der Lage, Ammoniak zu binden, und es hängt von der Art der Gesteine und deren mineralogischen Zusammensetzung ab, wie viel Ammoniak sorbiert werden kann (ADAMS et al., 1964).

WITTER und LOPEZ-REAL (1988) berichten, dass durch die Abdeckung von Kompostmieten mit einer dünnen Schicht Zeolite die NH_3 -Emissionen deutlich reduziert werden können.

In einem Versuch mit Lavamehl und Hühnermist konnte festgestellt werden, dass Lavamehl eine Verzögerung der Ammoniakfreisetzung bewirkt und Stickstoffverluste bei der Lagerung von Hühnermist um 1% - 10% verringert werden konnten (KISTNER-OTHMER, 1989).

OTT (1990) berichtet von einem Potenzial des Gesteinsmehles, den Stickstoffverlust beim Kompostieren zu verringern. In einem Labor- sowie Feldversuch kamen silikatische Gesteinsmehle, Algenkalk und lehmige Erde zum Einsatz. Der Unterschied bei den Stickstoffverlusten war nicht signifikant zur Kontrollvariante ohne Steinmehl, jedoch wies jede Versuchsvariante mit Steinmehl niedrigere Stickstoffverluste auf als die Kontrollvariante. Daraus schließt Ott die Möglichkeit, dass Steinmehl einen Teil des Stickstoffes immobilisieren kann.

4 Datengrundlage, Material und Methoden

Im Herbst 2011 wurde das Probenmaterial von den Steinbrüchen und Kompostanlagen ins Labor transportiert. Die Laboruntersuchungen der Gesteinsmehle fanden von Oktober 2011 bis Jänner 2012 im Labor des geologischen Institutes der BOKU statt. Einige ergänzende Messungen wurden im Frühjahr 2013 nachgeholt. Die Treibhausgasmessungen fanden im Dezember 2011 und Jänner 2012 im Labor des Instituts für Bodenkunde an der BOKU statt.

4.1 Probenmaterial

Das Probenmaterial setzte sich aus zwei Komponenten, den Komposten der Firma Sonnenerde, der Stadt Wien und den Gesteinsmehlen zusammen.

4.1.1 Gesteinsmehl

Der Fachverband der Stein- und keramischen Industrie (WKO) stellte ihre Adressen der Natursteinindustriefirmen und Steinbrüche in Österreich zur Verfügung. Firmen, welche Gesteinsmehl anbieten, wurden telefonisch über die Liste der WKO eruiert.

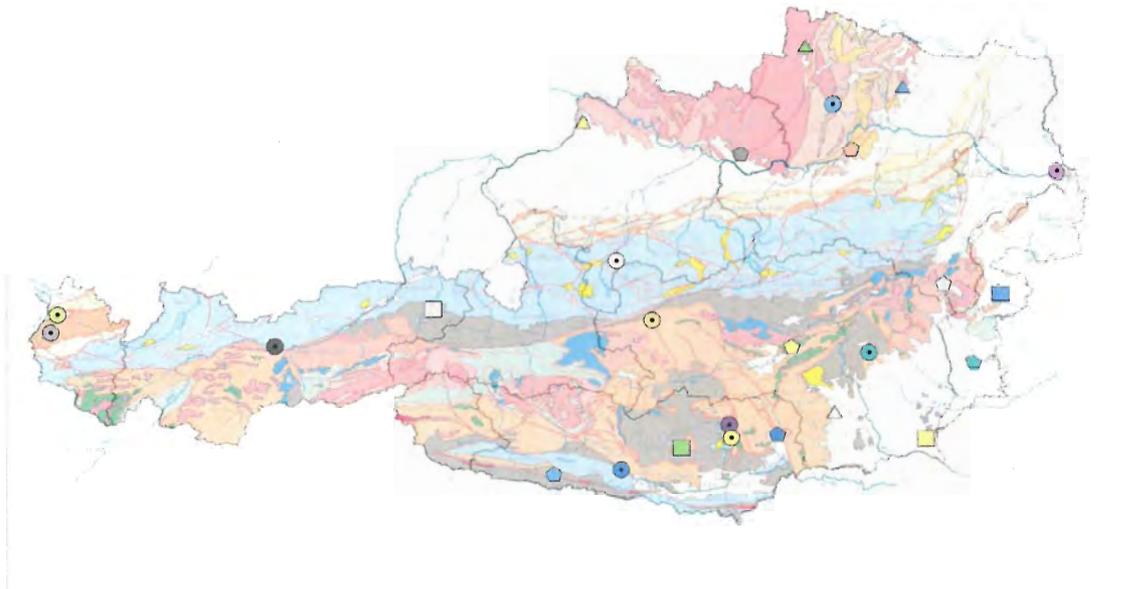
Von 51 angeführten Steinbrüchen und Natursteinindustriefirmen, stellten 26 Firmen eine Probe zur Verfügung. Eine Firma führt ihr eigenes Labor und darf keine Probe weiter geben, und eine weitere Firma stellte keine Probe ihres Gesteinsmehles zur Verfügung. Die restlichen 24 Firmen bieten kein pulverisiertes Gestein zum Verkauf an.

8 Gesteinsmehle wurden zusätzlich besorgt und waren, mit Ausnahme des Hartsteinwerkes Kitzbühel, nicht in der Liste der WKO angeführt. Aus dem Handel wurden „Bella Flora Urgesteinsmehl“, „Immergrün Urgesteinsmehl“, „Biolit Hartsteinwerke Kitzbühel“, „Bio Furtner“ und „Ikosan Urgesteinsmehl“ bezogen. Auf das Gesteinsmehl von Aspanger machte Herr Dunst von der Firma Sonnenerde, woher auch eine Kompostprobe stammte, aufmerksam, und über das Vorkommen von Basaltmehl/Pauliberg gab mein Betreuer Herr Prof. Ottner Auskunft. Die Gesteinsmehlprobe der Firma Umweltpionier kam noch im Sommer 2013 hinzu.

Silikathältiges Gesteinsmehl, welches auch unter dem kommerziellen Namen „Urgesteinsmehl“ bekannt ist, wird von 20 Firmen angeboten. 15 Firmen verkaufen gemahlene Kalk- und Dolomitgestein zur Kalkung.

Die Steinbrüche, von welchen die Gesteinsmehlproben bezogen wurden, verteilen sich über ganz Österreich. Wie in Abbildung 4-1 ersichtlich, befindet sich der Großteil der Steinbrüche, von welchen Gesteinsmehlproben bezogen wurden, im südlichen Teil Österreichs.

Standorte der Steinbrüche



Legende:

- | | | | |
|---|--|---|---|
| ○ | Karbonat | □ | Basalt/Diabas |
| ● | 11661 - Dolomit Eberstein Neuper | ■ | 11697 - 11962 Klöcher Basalt |
| ● | 11695 - 11696 - Sölker Marmor | ■ | 11699 - Josef Kogler Natursteinbruch |
| ● | 11710 - Rhomberg Steinbruch | ■ | 11840 - Basaltwerke Pauliberg |
| ● | 11711 - Marko GmbH | □ | 12118 - Hartsteinwerk Kitzbühel |
| ● | 11712 - Renz Markus | ○ | div. Gesteine |
| ● | 11734 - OMYA GesmbH | ● | 11733 - Magnolithe Gesellschaft m.b.H. |
| ● | 11736 - Hollitzer Baustoffwerke | ● | 11735 - Robert Schindele & Co. OG. |
| ● | 11738 - 11739 - Wietersdorfer & Peggauer Zementwerke | ● | 11737 - Pinkataleer Schotterwerke |
| ○ | 11740 - BAUMIT Baustoffe | ● | 11741 - Jenul |
| ● | 11838 - Keckeis Steinbruch Röttis | ● | 11835 - Kärntner Montanindustrie |
| ● | 11839 - Plattner u. Co. Kalkwerk Zirl | ○ | 11961 - Aspanger Bergbau und Mineralwerke |
| △ | Granitfamilie/Gneis | ● | 13622 Umweltpionier Schwertberg |
| △ | 11743 - Schärldinger Granit Industrie AG | | |
| △ | 11791 - Josef Widy's Söhne Steinmetzmeister Schrems | | |
| △ | 11908 - HENGL Schotter-Asphalt-Recycling GmbH | | |
| △ | 11974 - Brüder Rath Steinbrüche | | |

Abbildung 4-1: geologische Karte Österreich der GEOLOGISCHEN BUNDESANSTALT, verändert: mit Steinbrüche

Der Süden Österreichs wird in der Geologie als Zentralzone und die Südalpen beschrieben. Von diesen Zonen stammen ein Großteil der Gesteinsmehlproben. Einige Steinbrüche befinden sich in tertiären Becken im Osten Österreichs. Wenige Steinbrüche

unserer Gesteinsmehlproben sind in der Grauwackenzone, in den nördlichen Kalkalpen und in der Flyschzone. 6 Gesteinsmehle bezogen wir aus Steinbrüchen der Böhmisches Masse. Karbonathaltige Gesteinsmehle sind in der Karte mit einem Kreis dargestellt, Granitfamilie/ Gneis mit einem Dreieck, Basalt/ Diabas mit einem Quadrat und der Rest mit einem Fünfeck.

4.1.2 Kompost

Kompost ist ein sehr heterogenes Material und kann unterschiedlichste Eigenschaften aufweisen, welche die Treibhausgasentwicklung beeinflussen. Um die Unterschiede des Faktors Kompost bei der Entwicklung treibhausrelevanter Gase ersichtlich zu machen, wurden zwei verschiedene Kompostproduktionsstätten gewählt. Eine Kompostprobe kam von der Firma Sonnenerde und die zweite Kompostprobe wurde von der MA48 in Wien Hernals bezogen.

4.1.2.1 Sonnenerde von Gerald Dunst

Die Firma Sonnenerde unter der Leitung von Gerald Dunst hat ihren Firmensitz in Riedlingsdorf in der Steiermark und besteht seit 1998. Auf der Homepage unter „Firmenphilosophie“ wird der Anspruch erhoben, gut riechende, leicht verarbeitende und ökologisch wertvolle Produkte herzustellen.

Grünschnitt, Obstabfälle und kontrollierte Klärschlämme der Güteklasse 1 werden als Rohmaterialien verwendet. Gemeinsam mit Erde wird dieses Rohmaterial durchmischt und zu kleinen Dreiecksmieten aufgesetzt. Danach wird die Miete mit einem Vlies abgedeckt, um nicht zu vernässen und eine gleichmäßige Rotte zu gewährleisten. Eine optimale Sauerstoffversorgung wird durch 3 mal wöchentliches Umsetzen der Mieten und den kleinen Mietenquerschnitt angestrebt. Dadurch steigt die Temperatur in den Mieten rasch an und klingt bereits nach 6 Wochen wieder ab.

Die abgekühlten Mieten werden zu großen Mieten zusammengefasst und bleiben so ca. 1 Jahr zur Reifung liegen. Herr Dunst bezeichnet diesen Prozess als „Vererdung“. In diesem Jahr der Vererdung wird der Kompost 4-5 mal umgeschichtet, mit dem Ziel, Homogenität und gute Reife zu erlangen. Auch hier werden die Mieten mit einem atmungsaktiven Vlies abgedeckt, um den Unkrautdruck durch Anflug zu verhindern. Erst nach diesem Jahr wird die Erde auf 15 mm gesiebt. Danach werden je nach Produkt Zuschlagsstoffe beigemischt, in unserem Fall das Aspanger Gesteinsmehl, und danach noch einmal gesiebt.

Tabelle 4-1: Komposteigenschaften Sonnenerde Firmenangaben

Parameter	Einheit	Ergebnis
Glühverlust (organische Substanz)	% TM	22,4
Stickstoff gesamt	% TM	0,32
Phosphat gesamt	% TM	0,86
Kalium gesamt	% TM	0,44
Kalk (CaCO ₃)	% TM	4,08
Elektrische Leitfähigkeit	mS/cm	0,88
pH-Wert		7,45

Die Kompostprobe wurde aus fertigen vererdeten Kompost entnommen.

4.1.2.2 MA48 Kompost

Die Stadt Wien verwendet für die Kompostierung organisches Baum- und Strauchschnittmaterial aus gewerblichen (Gartenbetriebe, Mistplätze und Wiener Stadtgärten) und privaten Anlieferungen. Das Material aus der innerstädtischen Biotonne wird seit 2007 in der Biogasanlage Wien verarbeitet und nicht verkompostiert.

In der Bioabfallaufbereitungsanlage wird das zu kompostierende Material mit einem mobilen Häcksler zerkleinert und in einer Mischtrommel homogenisiert. Die Homogenisierung erfolgt unter Zugabe von Wasser innerhalb von 10 Minuten, um eine Zerstörung der Zellwände des Ausgangsmaterials zu vermeiden.

Im Kompostwerk Lobau wird das Biomaterial zeilenförmig auf den Rotteflächen aufgeschüttet und während einer Rottephase von acht bis zehn Wochen von Kompostwendemaschinen gewendet und bewässert. Nach den zehn Wochen wird das Material gesiebt und kann von den Endverbrauchern genutzt werden. Kompostabnahmen in haushaltüblichen Größen können kostenlos von den Mistplätzen bezogen werden. Die Kompostqualität der MA48 erreicht die Güteklasse A+.

4.2 Untersuchungen der Gesteinsmehle

Im Labor des geologischen Instituts an der BOKU Wien wurden die Gesteinsmehle folgenden Untersuchungen unterzogen.

4.2.1 Wassergehalt

Die Bestimmung des Wassergehaltes erfolgte gemäß ÖNORM B 4410 durch Ofentrocknung.

4.2.1 pH-Wert

Nach dem in der Ö-Norm L 1083 vorgegebenen Verhältnis 1: 5 wurde der pH-Wert in deionisiertem Wasser (aktuelle Azidität) mit einem WTW pH196 pH-Meter ausgestattet und mit einer SenTix 41 pH-Elektrode gemessen. Kalibriert wurde mit WTW Technische Puffer bei pH 7 und pH 10. Die Gesteinsmehle wurden zusätzlich zum Schütteln zentrifugiert.

4.2.1 Leitfähigkeit

Die Leitfähigkeit wurde nach ÖNORM EN 13038 gemessen.

4.2.2 Gesamtmineralanalyse

Das Probenmaterial wurde getrocknet und in einer Scheibenschwingmühle analysefein vermahlen. Anschließend wurde das Pulver nach dem „blackloading“-Verfahren präpariert und in einem Röntgendiffraktometer X'Pert PRO der Firma PANalytical mittels Cu K α Strahlung (45 kV, 40 mA) von 2° bis 70° 2 θ geröntgt. Die daraus entstandenen Diffraktogramme wurden mit der Software X'Pert HighScorePlus derselben Firma ausgewertet. Aus den Ergebnissen dieser Aufnahmen konnte der qualitative Mineralbestand ermittelt werden.

4.2.3 Korngrößenanalyse

30 bis 50 g Probematerial wurde mit destilliertem Wasser im Ultraschallbad verrührt und durch einen Siebsatz von 6,3 mm, 2 mm, 630 μ m, 200 μ m, 63 μ m und 20 μ m nass gesiebt. Die Siebrückstände wurden im Trockenschrank bei 105°C getrocknet, abgewogen und in Massenprozent der Einwaage angegeben. Die Fraktion > 20 μ m wurde mit Hilfe von Nasssiebung analysiert. Ab der Fraktion Mittelschluff (20 μ m bis 6,3 μ m) wurde durch die automatische Sedimentationsanalyse der prozentuelle Anteil der einzelnen Korngrößenklassen an der Gesamtprobe ermittelt.

Der Anteil < 20 μ m wurde im Wasserbad eingedickt, um danach einen repräsentativen Teil dieses Rückstandes zu entnehmen und mit 0,5 ‰ Na-Polyphosphat zu versetzen. Die

im Ultraschallbad dispergierte Probe wurde im Sedigraph 5000 ET der Firma Micromeritics analysiert.

4.2.4 Karbonatbestimmung nach Scheibler

Zur Absicherung der röntgendiffraktometrischen Gesamtmineralanalyse wurden karbonathältige Proben zusätzlich einer Karbonatbestimmung nach Scheibler unterzogen. Die Methode wurde in Anlehnung an die ÖNORM L1084 durchgeführt. Die Karbonate werden mit 15 %iger Salzsäure zerstört und das dabei entstehende Kohlenstoffdioxid gasvolumetrisch nach Scheibler bestimmt. In Verbindung mit der Röntgendiffraktometrie können daraus die Karbonate Kalzit, Dolomit und gegebenenfalls Ankerit, Magnesit sowie Siderit quantitativ berechnet werden.

4.2.5 Simultan-Thermoanalyse (STA)

Mit einem Gerät der Firma Netzsch (Luxx 429) wurden 50 mg der gemahlene, bei 45 % relativer Luftfeuchte equilibrierten Probe in einem Pt-Rh-Tiegel gemessen. Mit einer Heizrate von 10°K pro Minute wurde die Probe von 25°C auf 1000°C erhitzt. Im Verlauf des Aufheizvorganges treten endotherme und exotherme Reaktionen auf. Simultan zum Erhitzen der Probe werden die Gewichtsänderung (Thermogravimetrie TG) und der Wärmefluss (Differenzialkalorimetrie DSC) gemessen. Die Messung wurde bei einem Fluss von 15 ml Stickstoff und 50 ml Luft pro Minute durchgeführt. Als Korrektur wurde ein leerer Tiegel verwendet.

4.3 Treibhausgasmessung

Nach Vorbild des Bundesamts für Waldökologie Schönbrunn wurde am Institut für Bodenkunde an der BOKU ein Inkubator für die Treibhausgasmessungen im Labor installiert. Die Versuchsreihe „treibhausgasreduzierende Wirkungen von Gesteinsmehl im Kompost“ war die erste Anwendung am neuen Gerät und hatte mit einigen Anwendungsfehlern zu kämpfen, welche in dieser Arbeit beschrieben werden.

Der Gasfluss der Kompostproben wurde Mittels zwei verschiedenen Methoden gemessen. CO₂ und NO_x wurden in einem offenen System, welches mit Pressluft arbeitet, automatisch entnommen. Für die Lachgas- und Methanmessungen wurden manuell vier Proben aus einem geschlossenen System entnommen.

4.3.1 Versuchsaufbau

In vier Messwochen wurden 352 Proben gemessen.

Jeder eingerahmte mit Zahlencodes befüllte Bereich in Tabelle 4-2 ist ein Messtag.

Die Buchstaben A bis E stehen für die 5 verschiedenen Gesteinsmehlarten.

- A... Aspanger
- B... Pauliberg
- C... Plattner Kalk
- D... Immergrün Urgesteinsmehl
- E... bellaFlora Urgesteinsmehl

Der Buchstabe K steht für die Variante Kompost ohne Steinmehl.

Die erste Zahl steht für den wassergefüllten Porenraum und die Kompostart.

- 1... 40% Wassergehalt und Kompost von Sonnenerde
- 2... 70% Wassergehalt und Kompost von Sonnenerde
- 3... 40% Wassergehalt und Kompost von MA48
- 4... 70% Wassergehalt und Kompost von MA48

Die zweite und letzte Zahl des Codes steht für die Wiederholung der gleichen Probenzusammensetzung (Kompost, Wassergehalt und Steinmehl), von denen es 4 gab.

Da Kompost ein sehr heterogenes Material ist, wurde entschieden, alle Proben 4 Tage durch alle 4 Temperaturstufen durchlaufen zu lassen und nicht für jede Temperaturstufe einen neuen Probensatz anzumischen. Daraus ergeben sich nur 88 Proben, die angesetzt wurden, jedoch 352 Proben für die Messdaten.

Um bereits nach der ersten Woche einen Überblick der einzelnen Versuchsvariablen zu erlangen, wurden die vier Wiederholungen auf jeweils zwei Teile geteilt. So lagen bereits nach der ersten Woche Ergebnisse zu den Faktoren Temperatur, Gesteinsmehl und Feuchte vor. Aus dem begrenzten Platzangebot im Inkubator von 22 Kammern für die Proben konnten nur 2 Wiederholungen derselben Probenzusammenstellung gemacht werden. Wiederholung 3 und 4 wurde dann in Messwoche 3 gemessen. Messwoche 2 und 4 beinhalteten das gleiche Konzept mit den einzelnen Faktoren (Temperatur, Gesteinsmehl und Feuchte) und deren Aufteilung (jede Woche 2 Wiederholungen), jedoch kam hier der weitere Faktor Kompost hinzu, indem in diesen zwei Wochen nicht der Kompost der Firma Sonnenerde, sondern der Kompost der MA48 (Stadt Wien) für die Messungen herangezogen wurde. In Tabelle 4-2 ist die Anordnung der Proben

dargestellt. Jede Probennummer kommt 4mal vor, da dieselbe Probe über alle vier Temperaturstufen verwendet wurde. Im Anhang ist der Probennummer die Temperatur hinten angefügt (z.B.A_1_1_5). So können die Werte über den Temperaturverlauf der Probe zugeordnet werden.

Tabelle 4-2: Versuchsanordnung der Treibhausgasmessungen

		Block1				Block2										
		Woche1		Woche2		Woche3		Woche4								
		Sonnenerde		MA48 Kompost		Sonnenerde		MA48 Kompost								
		40%	70%	40%	70%	40%	70%	40%	70%							
5°	A_1_1	A_1_2	A_2_1	A_2_2	A_3_1	A_3_2	A_4_1	A_4_2	A_1_3	A_1_4	A_2_3	A_2_4	A_3_3	A_3_4	A_4_3	A_4_4
	B_1_1	B_1_2	B_2_1	B_2_2	B_3_1	B_3_2	B_4_1	B_4_2	B_1_3	B_1_4	B_2_3	B_2_4	B_3_3	B_3_4	B_4_3	B_4_4
	C_1_1	C_1_2	C_2_1	C_2_2	C_3_1	C_3_2	C_4_1	C_4_2	C_1_3	C_1_4	C_2_3	C_2_4	C_3_3	C_3_4	C_4_3	C_4_4
	D_1_1	D_1_2	D_2_1	D_2_2	D_3_1	D_3_2	D_4_1	D_4_2	D_1_3	A_1_4	D_2_3	D_2_4	D_3_3	D_3_4	D_4_3	D_4_4
	E_1_1	E_1_2	E_2_1	E_2_2	E_3_1	E_3_2	E_4_1	E_4_2	E_1_3	E_1_4	E_2_3	E_2_4	E_3_3	E_3_4	E_4_3	E_4_4
	K_1_1	K_2_1	K_3_1	K_4_1	K_1_3	K_2_3	K_3_3	K_4_3								
12°	A_1_1	A_1_2	A_2_1	A_2_2	A_3_1	A_3_2	A_4_1	A_4_2	A_1_3	A_1_4	A_2_3	A_2_4	A_3_3	A_3_4	A_4_3	A_4_4
	B_1_1	B_1_2	B_2_1	B_2_2	B_3_1	B_3_2	B_4_1	B_4_2	B_1_3	B_1_4	B_2_3	B_2_4	B_3_3	B_3_4	B_4_3	B_4_4
	C_1_1	C_1_2	C_2_1	C_2_2	C_3_1	C_3_2	C_4_1	C_4_2	C_1_3	C_1_4	C_2_3	C_2_4	C_3_3	C_3_4	C_4_3	C_4_4
	D_1_1	D_1_2	D_2_1	D_2_2	D_3_1	D_3_2	D_4_1	D_4_2	D_1_3	A_1_4	D_2_3	D_2_4	D_3_3	D_3_4	D_4_3	D_4_4
	E_1_1	E_1_2	E_2_1	E_2_2	E_3_1	E_3_2	E_4_1	E_4_2	E_1_3	E_1_4	E_2_3	E_2_4	E_3_3	E_3_4	E_4_3	E_4_4
	K_1_1	K_2_1	K_3_1	K_4_1	K_1_3	K_2_3	K_3_3	K_4_3								
19°	A_1_1	A_1_2	A_2_1	A_2_2	A_3_1	A_3_2	A_4_1	A_4_2	A_1_3	A_1_4	A_2_3	A_2_4	A_3_3	A_3_4	A_4_3	A_4_4
	B_1_1	B_1_2	B_2_1	B_2_2	B_3_1	B_3_2	B_4_1	B_4_2	B_1_3	B_1_4	B_2_3	B_2_4	B_3_3	B_3_4	B_4_3	B_4_4
	C_1_1	C_1_2	C_2_1	C_2_2	C_3_1	C_3_2	C_4_1	C_4_2	C_1_3	C_1_4	C_2_3	C_2_4	C_3_3	C_3_4	C_4_3	C_4_4
	D_1_1	D_1_2	D_2_1	D_2_2	D_3_1	D_3_2	D_4_1	D_4_2	D_1_3	A_1_4	D_2_3	D_2_4	D_3_3	D_3_4	D_4_3	D_4_4
	E_1_1	E_1_2	E_2_1	E_2_2	E_3_1	E_3_2	E_4_1	E_4_2	E_1_3	E_1_4	E_2_3	E_2_4	E_3_3	E_3_4	E_4_3	E_4_4
	K_1_1	K_2_1	K_3_1	K_4_1	K_1_3	K_2_3	K_3_3	K_4_3								
26°	A_1_1	A_1_2	A_2_1	A_2_2	A_3_1	A_3_2	A_4_1	A_4_2	A_1_3	A_1_4	A_2_3	A_2_4	A_3_3	A_3_4	A_4_3	A_4_4
	B_1_1	B_1_2	B_2_1	B_2_2	B_3_1	B_3_2	B_4_1	B_4_2	B_1_3	B_1_4	B_2_3	B_2_4	B_3_3	B_3_4	B_4_3	B_4_4
	C_1_1	C_1_2	C_2_1	C_2_2	C_3_1	C_3_2	C_4_1	C_4_2	C_1_3	C_1_4	C_2_3	C_2_4	C_3_3	C_3_4	C_4_3	C_4_4
	D_1_1	D_1_2	D_2_1	D_2_2	D_3_1	D_3_2	D_4_1	D_4_2	D_1_3	A_1_4	D_2_3	D_2_4	D_3_3	D_3_4	D_4_3	D_4_4
	E_1_1	E_1_2	E_2_1	E_2_2	E_3_1	E_3_2	E_4_1	E_4_2	E_1_3	E_1_4	E_2_3	E_2_4	E_3_3	E_3_4	E_4_3	E_4_4
	K_1_1	K_2_1	K_3_1	K_4_1	K_1_3	K_2_3	K_3_3	K_4_3								
		Sonnenerde		MA48 Kompost		Sonnenerde		MA48 Kompost								

A_1_2

A.....Gesteinsmehlart

1..... Wassergehalt und Kompostart

2.....Wiederholung

4.3.2 Probenvorbereitung

Der Wassergehalt von jeweils 4 Kompostproben (Sonnenerde und MA48) wurde ermittelt, indem die Proben 24 h bei 105° ofengetrocknet wurden. Der Gewichtsunterschied vor und nach der Ofentrocknung ergab den Wassergehalt einer jeden Probe. Der Mittelwert der 4 Kompostproben der Firma Sonnenerde und der Mittelwert der 4 Kompostproben der MA48 wurden für die weiteren Berechnungen der jeweils 44 Kompostproben verwendet.

Über eine angenommene Lagerungsdichte von $0,8 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ (DUNST, 2011) wurde der wassergefüllte Porenraum (WFPS) errechnet.

$$\text{WFPS} = V_W / V_P$$

**Wassergefüllter Porenraum (WFPS) = Gesamtvolumen der flüssigen Phase (V_W)
bezogen auf das Porenvolumen (V_P)**

Der wassergefüllte Porenraum ist ein Maß zur Erklärung des Wassergehalts und lässt einen Vergleich zwischen Böden mit unterschiedlichster Textur zu (MEIXNER und YANG, 2006).

Eine Woche vor Messbeginn wurde der Kompost für die erste Messwoche mit einem 2 mm Sieb gesiebt und jeweils 100g in 22 Plastikbecher gefüllt. Danach wurden die fünf verschiedenen Gesteinsmehle ungesiebt in jeweils vier Becher zu 7g eingemischt. Der Wassergehalt wurde über eine Waage mit destilliertem Wasser eingestellt. Zum Schluss wurde die Probe mit einer Parafilmfolie verschlossen und noch zusätzliche Luftlöcher eingebracht. Im Kühlraum wurde die Probe bis zur Messwoche gelagert.

Zuerst wurden die NO_x und CO_2 Werte gemessen und erst im Anschluss die N_2O und CH_4 Werte. Der Wassergehalt wurde nur am ersten Tag eingestellt und im Laufe der Woche mit steigendem Temperaturanstieg nicht korrigiert.



Abbildung 4-2: Proben nach Messung (Foto: E. Pfeffer)

4.3.3 Inkubator

Der Innenraum des Inkubators besteht aus zwei Etagen, in denen 24 Kammern für Treibhausgasmessungen bereit stehen (je Etage 12 Kammern). Die Kammern können durch Teflonschläuche an ein NO_x und CO_2 Messgerät angeschlossen werden oder für Lachgas- und Methanmessungen luftdicht verschlossen werden.

Im Innenraum des Inkubators ist ein Ventilator angebracht, welcher die Innenraumluft zirkulieren lässt und eine Anreicherung von CO_2 in der unteren Etage verhindert.

Der Inkubator ist durch Öffnungen auf der Rückseite, wo auch Teflonschläuche durchgeführt werden, nicht völlig luftdicht abgeschlossen und wird ständig mit Druckluft durchspült. So soll gewährleistet werden, dass kein Unterdruck im Inkubator entsteht. Die Intensität, mit der Druckluft ins System des Inkubators gebracht wird, kann von außen manuell reguliert werden. Der Inkubator kann auf die gewünschte Temperatur temperiert werden und die Zirkulation kann stufenweise über den Ventilator geregelt werden.

Der Inkubator wurde befüllt, indem in 22 der 24 Kammern eine Probe kam. Eine Kammer in jeder Reihe blieb leer, um die Hintergrundkonzentration erfassen zu können.



Abbildung 4-3: Innenraum Inkubator (Foto: E. Pfeffer)

4.3.1 CO₂ und NO_x Messungen

Kohlendioxid und NO_x Flüsse wurden mit einem automatischen Labromesssystem gemessen, indem alle 24 Kammern im temperaturreguliertem Inkubator an ein en CO₂- und NO_x Messgerät angeschlossen wurden.

Gemessen wurden 5 Durchgänge zu je 3h40min. Gesamt dauerte die Messung eines Temperaturzyklus des CO₂ und NO_x 18h20min. In Abbildung 4-4 ist der Ablauf der CO₂ und NO_x Messung dargestellt.

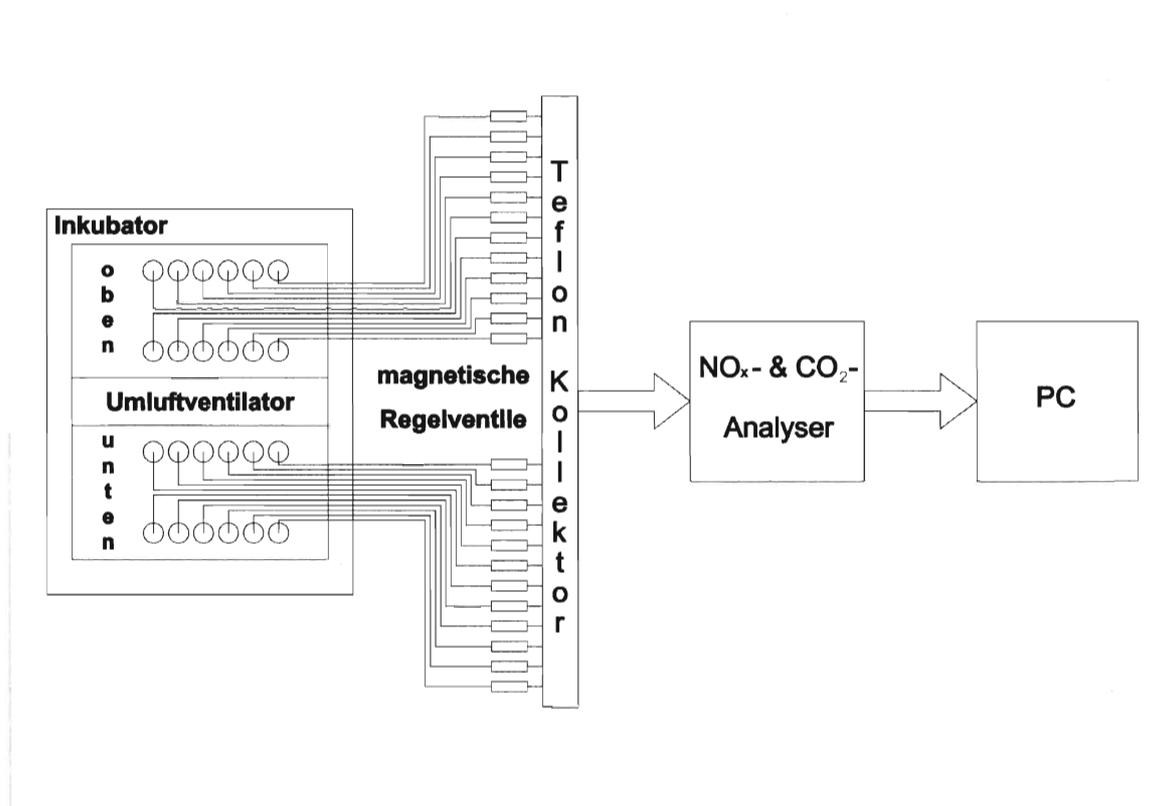


Abbildung 4-4: schematische Darstellung NO_x & CO₂ Messung

Vor jeder Kammermessung wurde ein Leerlauf gemessen, um die CO₂ Hintergrundkonzentration zu erfassen und von der Kammermessung abzuziehen. Für die Leerlaufmessung wurden 2 Kammern, eine oben und eine unten, leer gelassen. Je nachdem, wo sich die befüllte Kammer befand, wurde die obere oder untere leere Kammer gemessen. Eine Leerlaufmessung dauert 4 Minuten und eine Probenmessung 6 Minuten.

Der erste Durchgang der CO₂ und NO_x Messungen wurde in die Berechnungen nicht miteinbezogen, da durch das Befüllen des Inkubators die Gaswerte (vor allem CO₂) verfälscht waren.

Um eine Anreicherung von CO₂ und NO_x Gase im Inkubator zu verhindern, wurde das System ständig mit Pressluft durchspült.

Kohlendioxid wurde mit einem PP SYSTEMS WMA-4 Infrarot CO₂-Analyser und Stickoxide mit einem HORIBA APNA-360 NO_x Analyser gemessen. Die NO_x Werte des HORIBA Analyser beziehen sich auf NO₂ und andere stickstoffhaltige Verbindungen (PAN, NH₃, HONO, HNO₃, Nitrat, Nitrit). In dieser Arbeit werden diese Werte mit NO₂ beschrieben.

Die CO₂, NO und NO₂ Flussraten wurden wie folgend berechnet:

$$F = (C_{eq} - C_0) * ((M * Q * 10^6) / (V_m * A + 10^9)) * 60$$

- F... ist die Flussrate in mg CO₂ – C m⁻² h⁻¹, µg NO – N m⁻² h⁻¹ und µg NO₂ – N m⁻² h⁻¹
- M... ist das Atomgewicht des Elements (C = 12,0107 g mol⁻¹ und N = 14,008 g mol⁻¹)
- V_m... ist das standartisierte Gasmolarvolumen (24,055 * 10⁻³ m³ mol⁻¹)
- C_{eq}... ist das Gasmischverhältnis (ppbv = 10⁻⁹ m³ m⁻³) wenn die Kammer den Gleichgewichtszustand erreicht hat
- C₀... ist das Gasmischverhältnis in der Referenzkammer (ohne Probe)
- Q... ist die Massenflussrate in der Kammer (ca. 0,001 m³ min⁻¹ für NO sowie NO₂ und 0,00045 m³ min⁻¹ für CO₂)
- A... ist die Probenoberfläche (0,004183 m²)

4.3.2 N₂O und CH₄ Messungen

Nach der automatischen Messung von CO₂, NO und NO₂ wurde jedes Glas verschlossen und mit 36ml Druckluft befüllt. Aus jedem Glas wurden 4 Proben zu je 10 ml mit einer verschließbaren Gasspritze (Kolbenprober mit Einweghahn) manuell entnommen und in ein vakuumiertes Glas injiziert. Dabei wurde darauf geachtet, dass zwischen den 4 Proben ein Zeitabstand von 7 Minuten eingehalten wurde. In diesen 7 Minuten konnte aus den anderen 23 Kammern Proben entzogen werden. Daraus ergibt sich eine Messdauer von 28 Minuten für alle 96 Proben. Die Gasproben wurden sofort nach Probenentnahme aus allen 24 Kammern im Gaschromatographen gemessen.



Abbildung 4-5: manuelle Gasprobenentnahme (Foto: E. Pfeffer)

Gemessen wurde mit einem Gaschromatographen (AGILENT 7890A) angeschlossen an ein automatisches Probenentnahmesystem (AGILENT 7697A, Headspace-Sampler).

N_2O wurde über eine Elektroneneinfangdetektor (ECD) und CH_4 mit einem Flammenionisationsdetektor (Ni Kat FID) gemessen.

Als Trägergas für den ECD diente Stickstoff mit einer Flussrate von 25 ml min^{-1} und Helium wurde als Trägergas für den FID mit einer Flussrate von $4,3684 \text{ ml min}^{-1}$ eingesetzt.

Die Emissionsraten für N_2O ($\mu\text{g N}_2\text{O} - \text{N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) und CH_4 ($\mu\text{g CH}_4 - \text{C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) wurden berechnet über die Änderungen der oberen Gaskonzentrationen in den Kammern.

Die Kalkulation der N_2O und CH_4 Messung ist beschrieben in „Manual on measurement of methane and nitrous oxide emissions from agriculture“ (IAEA, 1992).

5 Ergebnisse und Interpretation

5.1 Eigenschaften der Gesteinsmehle

5.1.1 Wassergehalt

Der Großteil der Gesteinsmehle (22 Proben) hat einen gemessenen Wassergehalt von 0%. Von diesen 22 Proben wurden 3 Gesteinsmehle für die Treibhausgasmessung verwendet, Aspanger, Immergrün Urgesteinsmehl und PlattnerKalk.

6 Proben haben einen Wassergehalt von 1%, wovon das Urgesteinsmehl der Marke bellaFlora für die Treibhausgasmessungen herangezogen wurde. Bei 4 Gesteinsmehlen wurden 2% Wassergehalt gemessen, bei dem das Basaltmehl vom Pauliberg für die weiteren Treibhausgasmessungen diente. Die Gesteinsmehle der Firma Klösch und der Firma Umweltpionier weisen einen Wassergehalt von 3% auf. 4% Wassergehalt wurden im Gesteinsmehl der Firma Kogler gemessen.

Das Gesteinsmehl der Firma Rath hat bereits einen für Gesteinsmehl sehr hohen Wassergehalt von 19%. Das Gesteinsmehl von Schäringer Granit, welches nicht im Handel angeboten wird und die Probe direkt von der Schneidemaschine entnommen wurde, war sehr feucht mit 26% Wassergehalt. Die Werte von 19% der Firma Rath und von 26% der Firma Schäringer Granit sind jedoch verfälscht, da beim Schneiden mit Wasser gearbeitet wurde und der Großteil des Wassergehalts von der Schneidemaschine kommt.

5.1.2 pH-Wert

Zwischen den pH-Werten 8,1 bis 8,4 bewegt sich der Großteil der Proben (23 Gesteinsmehlproben). Das Gesteinsmehl der Firma Schindele weist mit 7,4 den niedrigsten pH-Wert auf und das Kalkmehl der Firma Marko den höchsten pH-Wert mit 9,7.

Die pH-Werte der Kalkmehle bewegen sich zwischen 8,1 und 9,7. Ein pH-Wert von 8,1 wurde bei dem Dolomitgesteinsmehl der Firma Hollitzer und den drei Kalkmehlen der Firmen Keckeis, Rhomberg und Renz gemessen. Wietersdorfer, Sölker Marmor (fein), Ikosan (fein) und Baunit sind weitere Kalkmehle und folgen mit einem pH-Wert von 8,2. Die Kalkmehle Wietersdorfer und Omya weisen einen pH-Wert von 8,3 auf, sowie das Dolomitmehl der Firma Eberstein. Kalkmehle mit einem pH-Wert von 8,4 sind Ikosan und Plattnerkalk, gefolgt von SölkerMarmor mit einem pH-Wert von 8,8. Mit einem pH-Wert von 9,7 hebt sich das Kalkmehl der Firma Marko hervor. Da dieser hohe Wert außerhalb

des Karbonatpufferbereichs liegt, wurden Nachbeprobungen vorgenommen und ein Versuch durchgeführt.

Für die Nachbeprobung wurde der pH-Wert auf zwei verschiedene Weisen eruiert. Eine Probe wurde nach Ö-Norm L 1083 bereits nach 3 Stunden gemessen und eine weitere Probe wurde zwei Stunden geschüttelt, danach zentrifugiert, 15 h stehen gelassen und vor der Messung noch einmal geschüttelt. Bei der Messung nach Ö-Norm L 1083 ergab sich ein Wert von 9,6. Die zweite Probe des Kalkmehls der Firma Marko ergab einen pH-Wert von 9,5. Der hohe pH-Wert wurde bestätigt. Ein Messfehler der ersten Beprobung kann ausgeschlossen werden.

Eine weitere Erklärung für einen pH-Wert außerhalb des Karbonatpufferbereichs wäre die Beimengung von Branntkalk. In einem Versuch wurde reines Kalziumkarbonat auf 950° erhitzt und im Röntgendiffraktometer gemessen. Zusätzlich zum Branntkalk wurde die Mineralogie von reinem Löschkalk (Portlandit $\text{Ca}(\text{OH})_2$) über Röntgendiffraktometrie eruiert.

Die Diffraktogramme von Branntkalk und Löschkalk wurden mit denen von einem Kalkmehl mit pH-Wert von 8,2 (Wietersdorfer (fein)) und dem Kalkmehl der Firma Marko mit pH-Wert über 9,5 verglichen. Wie in Abbildung 5-1 ersichtlich, findet man keine Hinweise auf Branntkalk (gelb) oder Löschkalk (rot) im Kalkmehl der Firma Marko (dunkelblau).

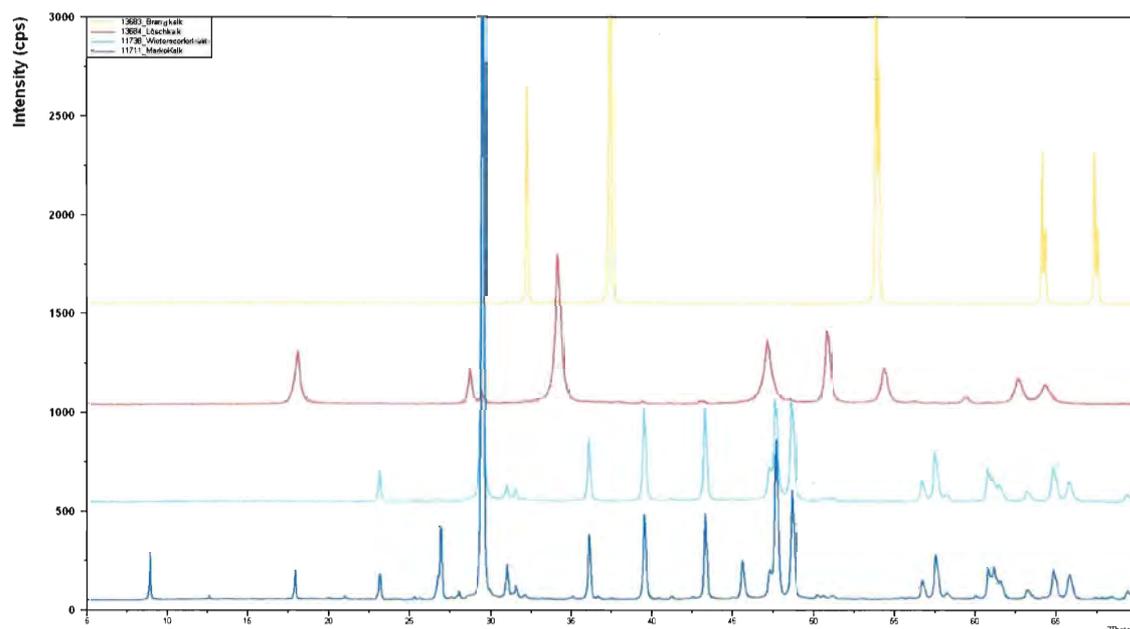


Abbildung 5-1: Diffraktogramme Brandkalk/Löschkalk im Vergleich zu Kalkmehl

Zusätzlich zur XRD wurde noch eine STA Analyse gemacht. Wie in Abbildung 5-2, Abbildung 5-3 und Abbildung 5-4 ersichtlich, konnte auch hier kein Hinweis auf Löschkalk oder Branntkalk in der Probe der Firma Marko gefunden werden.

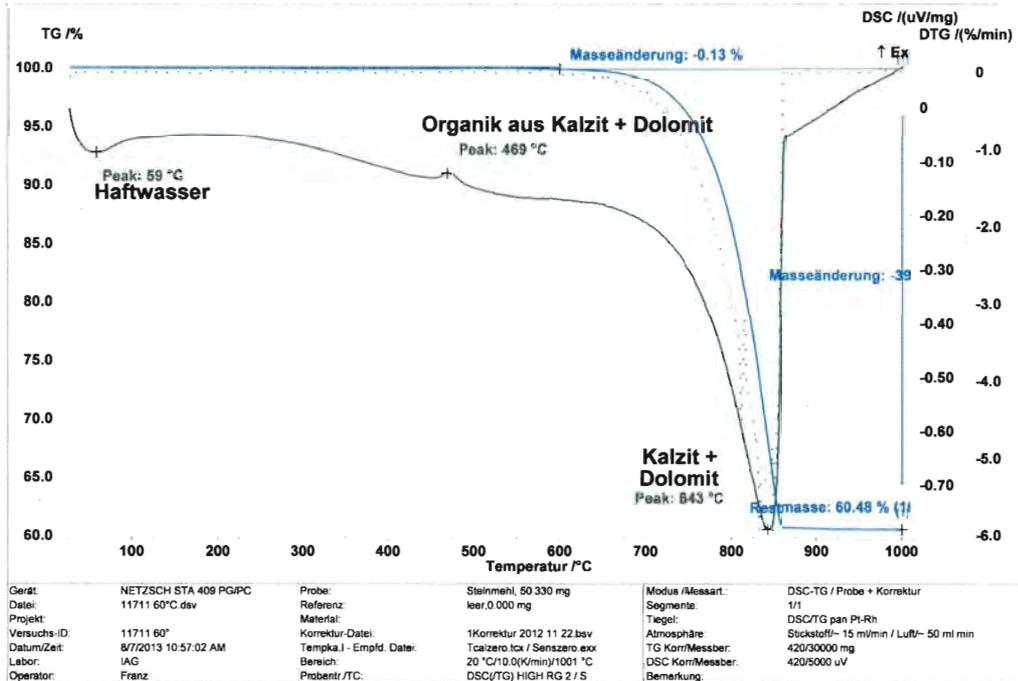


Abbildung 5-2: STA Kalkmehl Marko

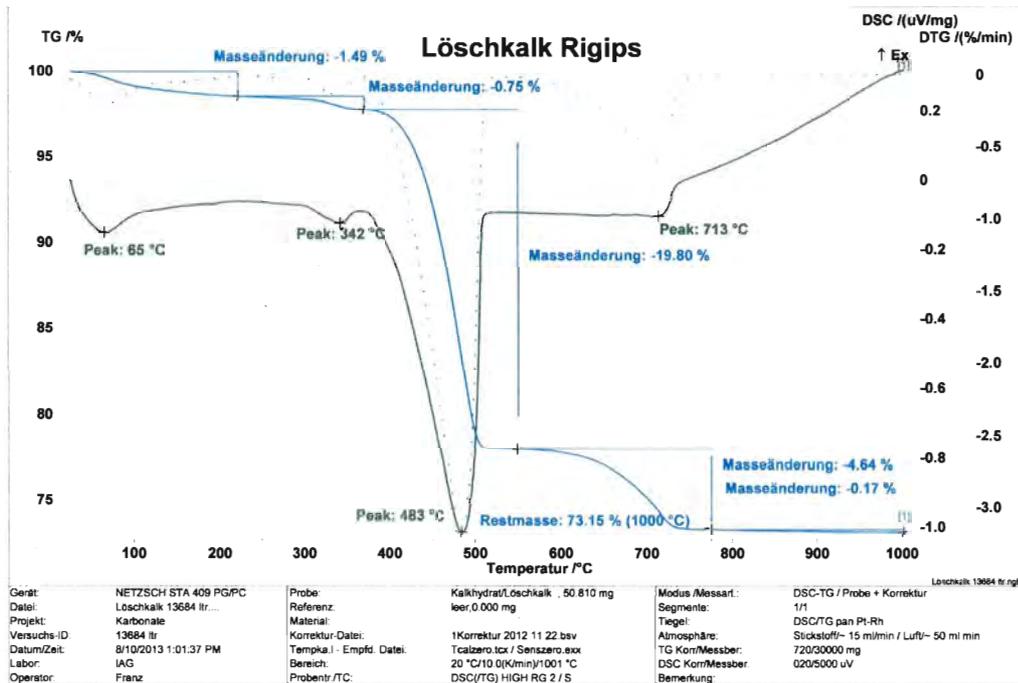


Abbildung 5-3: STA Löschkalk

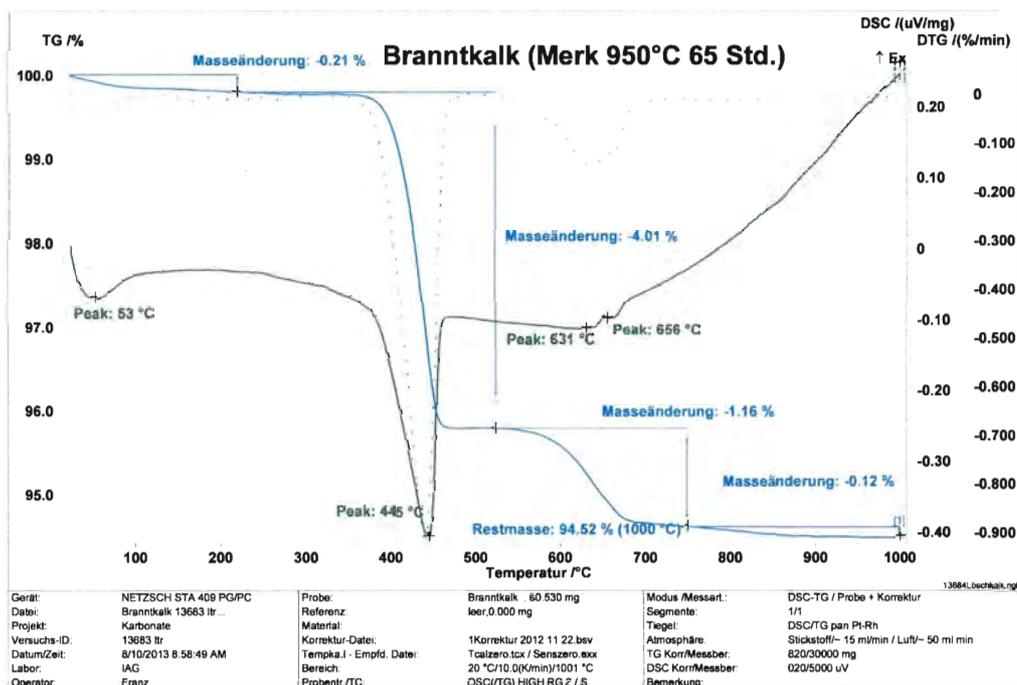


Abbildung 5-4: STA Brantkalk

Sowohl an Hand der Diffraktogramme als auch bei der STA Analyse konnte kein Brantkalk oder Löschkalk nachgewiesen werden. Es besteht die Möglichkeit, dass sehr kleine Mengen von Brantkalk oder Löschkalk genügen, um den pH-Wert deutlich anzuheben. Kleine Mengen von unter 1% Anteil an der Gesamtprobe sind im Diffraktogramm nicht erkennbar. Aus diesem Grund wurde ein Versuch mit reinem Kalziumkarbonat durchgeführt.

Zuerst wurde der pH-Wert von zwei reinen Kalziumkarbonatproben nach Ö-Norm L 1083 gemessen. Danach wurden dieselben Proben mit 10 mg Brantkalk bzw. mit 10 mg Löschkalk „verunreinigt“, kurz durchgeschüttelt und sofort noch mal gemessen. 10 mg entsprechen bei einer Einwaage von 5 g des reinen Kalziumcarbonates einer „Verunreinigung“ durch Brandkalk bzw. Löschkalk von 0,2 %.

Die reine Kalziumkarbonatprobe ergab einen pH-Wert von 8,35. Die mit 0,2 % Brantkalk „verunreinigte“ Probe ergab einen pH-Wert von 11,7 und die mit 0,2 % Löschkalk „verunreinigte“ Probe kam auf einen pH-Wert von 11,6.

Tabelle 5-1: pH-Wert Gesteinsmehl

Probennummer	Name		pH zent.Lösung	pH ÖnormL1083	pH Firmenangaben
11657	Schindele	S	7,4		
11735	Rath	S	7,6		
11974	Aspanger	S	7,8		
11961	Pauliberg	S	7,8		9,5
11737	Pinkataler	S	7,9		
13622	Furtner	S	7,9	7,9	
11840	Umweltpionier	S	8,0	7,8	
11962	Klöch	S	8,0		
11791	Widy`s	S	8,0		
11712	Renz	K	8,1		
11736	Hollitzer	K	8,1		
11838	Keckeis	K	8,1		
11710	Rhomberg	K	8,1		
11837	bellaFlora	S	8,1		
11699	Kogler	S	8,1		
11743	SchärdingerGranit	S	8,2		
11835	KärnternMontanind.	S	8,2		
11738	Wietersdorfer (fein)	K	8,2		
11695	SölkerMarmor (fein)	K	8,2		
11698	Ikosan(Karton)(fein)	K	8,2		
11740	BaumitPetereder	K	8,2		7,9
12118	Biolit	S	8,3		
11739	Wietersdorfer	K	8,3		
11734	Omya	K	9,0	9,0	8,5 bis 9,5
11658	GreenVital	S	8,3		
11697	KlöcherBasalt	S	8,3		
11741	Jenul	S	8,3		
11661	DolomitEberstein	K	8,3		
11659	Immergrün	S	8,4		
11660	Ikosan(Plastiksack)	K	8,4		
11839	PlattnerKalk	K	8,4		
11908	Hengl	S	8,4		
11696	SölkerMarmor	K	8,8	9,4	
11733	Magnolithe	S	9,0	9,3	
11711	Marko	K	9,7	9,6	

Die silikathältigen Gesteinsmehle beginnen bei einem pH-Wert von 7,4 mit dem Gesteinsmehl der Firma Schindele, gefolgt mit einem pH-Wert von 7,6 des Gesteinsmehles der Firma Rath. Aspanger Gesteinsmehl und das Basaltmehl vom Pauliberg weisen einen pH-Wert von 7,8 auf. Laut Firmenangaben sollte das Basaltmehl einen pH-Wert von 9,5 ergeben. Die Firmen Umweltpionier, Furtner und Pinkataler ergaben bei den Gesteinsmehlproben einen pH-Wert von 7,9 und Klöch und Widy`s einen

pH-Wert von 8. Zwei silikathältige Gesteinsmehle, bellaFlora und Kogler, weisen den selben pH-Wert von 8,1 auf, welcher auch der niedrigste pH-Wert bei den Kalkmehlen ist.

Die Hälfte der silikathältigen Gesteinsmehle liegen unterhalb des niedrigsten pH-Wertes vom Kalkmehl. Das Gesteinsmehl von Schärtinger Granit und der Kärntner Montanindustrie ergab einen pH-Wert von 8,2. Biolit, GreenVital, Klöcher Basalt und das Gesteinsmehl der Firma Jenul kamen auf einen pH-Wert von 8,3. Einen pH-Wert von 8,4 wurde bei den Gesteinsmehlen der Marke Immergrün und der Firma Hengl gemessen. Der Großteil der silikathältigen Gesteinsmehlproben bewegt sich zwischen einem pH-Wert von 7,9 und 8,4 (15 von 20 silikathältigen Gesteinsmehlen). Mit einem pH-Wert von 9 hebt sich das Gesteinsmehl der Firma Magnolithe deutlich hervor.

Für die Gesteinsmehle Furtner, Omya, Sölker Marmor, Magnolithe und Marko wurden Nachbeprobungen gemessen, wobei wie oben beschrieben, andere Methoden verwendet wurden. Das Gesteinsmehl der Firma Umweltpionier kam erst später und wurde daher bei der Nachbeprobung mitgemessen.

5.1.3 Leitfähigkeit

Die Werte der elektrischen Leitfähigkeit weisen Unterschiede auf. Gesamt sind die Werte eher gering. Das Gesteinsmehl der Firma Schindele weist den niedrigsten Wert mit 53 $\mu\text{S}/\text{cm}$ auf. Den geringsten Wert bei den carbonathältigen Gesteinen hat das Kalkmehl der Firma Renz mit 113 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Zwischen 100 und 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ halten sich der Großteil der Proben auf.

Den mit Abstand höchsten Wert bei der Leitfähigkeit hat das carbonathältige Gesteinsmehl der Firma Holliter mit 639 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Bei den silikathältigen Gesteinsmehlen hat die Firma Magnolithe mit 480 $\mu\text{S}/\text{cm}$ den höchsten Wert.

In Tabelle 5-2 sind die einzelnen Werte für die Leitfähigkeit angeführt. Der Vermerk „S“ bzw „K“ steht für silikathältige Gesteinsmehle bzw. karbonathältige Gesteinsmehle.

Tabelle 5-2: elektrische Leitfähigkeit Gesteinsmehle

Probennummer	Name		Leitfähigkeit $\mu\text{S}/\text{cm}$
11735	Schindele	S	53
11840	Pauliberg	S	79
11737	Pinkataler	S	84
11657	Furtner	S	95
11791	Widy's	S	107
11712	Renz	K	113
11695	SölkerMarmor (fein)	K	118
11711	Marko	K	119
11660	Ikosan(Plastiksack)	K	121
11696	SölkerMarmor	K	122
11962	Klöch	S	131
11698	Ikosan(Kartonbehälter fein)	K	140
11699	Kogler	S	140
11908	Hengl	S	140
12118	Biolit	S	156
11710	Rhomberg	K	157
11661	DolomitEberstein	K	162
11738	Wietersdorfer (fein)	K	163
11837	bellaFlora	S	166
11739	Wietersdorfer	K	168
11839	PlattnerKalk	K	170
11659	Immergrün	S	174
11734	Omya	K	181
11697	KlöcherBasalt	S	184
11740	BaomitPetereder	K	185
11743	SchärdingerGranit	S	187
11838	Keckeis	K	187
11658	GreenVital	S	190
11741	Jenul	S	217
11974	Rath	S	353
11835	KärnternMontanindustrie	S	364
11961	Aspanger	S	395
11733	Magnolithe	S	480
11736	Hollitzer	K	639

5.1.4 Gesamtmineralanalyse

Bei der Beurteilung wurden folgende Mengenangaben verwendet:

- *** ... Hauptbestandteil
- *** und ** ... Haupt- und Nebenbestandteil
- * ... Nebenbestandteil
- in Spuren vorhanden
- leeres Feld ... nicht nachgewiesen

5.1.4.1 Karbonathältige Gesteinsmehle

In die Gruppe karbonathältige Gesteinsmehle wurden 16 Kalkmehle eingeteilt. Darunter fallen 14 Gesteine mit dem Hauptmineralanteil Kalzit und 2 hauptsächlich dolomithältige Gesteine. Zu den Kalksteinen zählen die Gesteinsmehle der Marke Ikosan (11660 und 11698), sowie der Firmen SölkerMarmor (11695 und 11696), Rhomberg (11710), Marko (11711), Renz (11712), Omya (11734), Wietersdorfer (11738 und 11739), Baunit (11740), Keckeis (11838) und Plattner (11839). Dolomit als Hauptmineral ist in den Gesteinsmehlen der Firmen Eberstein (11661) und Hollitzer (11736). In Tabelle 5-3 ist die mineralogische Zusammensetzung der karbonathältigen Gesteinsmehle dargestellt.

Kalzit kommt in allen Gesteinen vor. 10 Gesteinsmehle weisen einen Kalzitanteil von über 94% auf. **Dolomit** ist bei 8 karbonathältigen Gesteinsmehlen festgestellt worden, wobei bei 2 Gesteinsmehlen (Eberstein 11661 und Hollitzer 11736) der dominierende Teil Dolomit ist.

Tabelle 5-3: Auswertung GMA karbonathältige Gesteinsmehle

karbonathältige Gesteinsmehle									
		Glimmer	Amphibolit	Chlorit	Quarz	KaliFeldspat	Plagioklase	Kalzit	Dolomit
Ikosan	11660	.			.	.		97%	
DolomitEberstein	11661			.			.	8%	89%
SölkerMarmor	11695	.			.			94%	1%
SölkerMarmor	11696	.			.			94%	1%
Ikosan	11698	.						99%	
Rhomberg	11710	.		.	*			70%	10%
Marko	11711	*		.	.		.	84%	1%
Renz	11712	*	.		.		.	96%	
Omya	11734				.			98%	1%
Hollitzer	11736	12%	51%
Wietersdorfer	11738							100%	
Wietersdorfer	11739							100%	
Baunit	11740							100%	
Keckeis	11838				.			99%	
PlattnerKalk	11839	.		.	.			62%	36%

Glimmer kommt im Gesteinsmehl der Firmen Marko und Renz als Nebenbestandteil vor.

Quarz ist im Gesteinsmehl der Firma Rhomberg ein Nebenbestandteil. Ansonst konnten Mineralien nur in Spuren nachgewiesen werden. Glimmer kam in Spuren bei 7 weiteren Gesteinsmehlen vor und Quarz konnte bei 9 Gesteinsmehlen in Spuren nachgewiesen werden.

Feldspäte und **Chlorit** konnte bei jeweils 5 Gesteinsmehlen in Spuren gemessen werden.

Amphibole konnten nur im Gesteinsmehl der Firma Renz in Spuren nachgewiesen werden.

Das Kalkmehl der Firma Plattner wurde für die Treibhausgasmessungen ausgewählt. Mit 62% Kalzit und 36% Dolomit ist es das einzige Kalkmehl mit über 1/3 Dolomitanteil. Muskovit, Quarz und Chlorit kommen in Spuren vor.

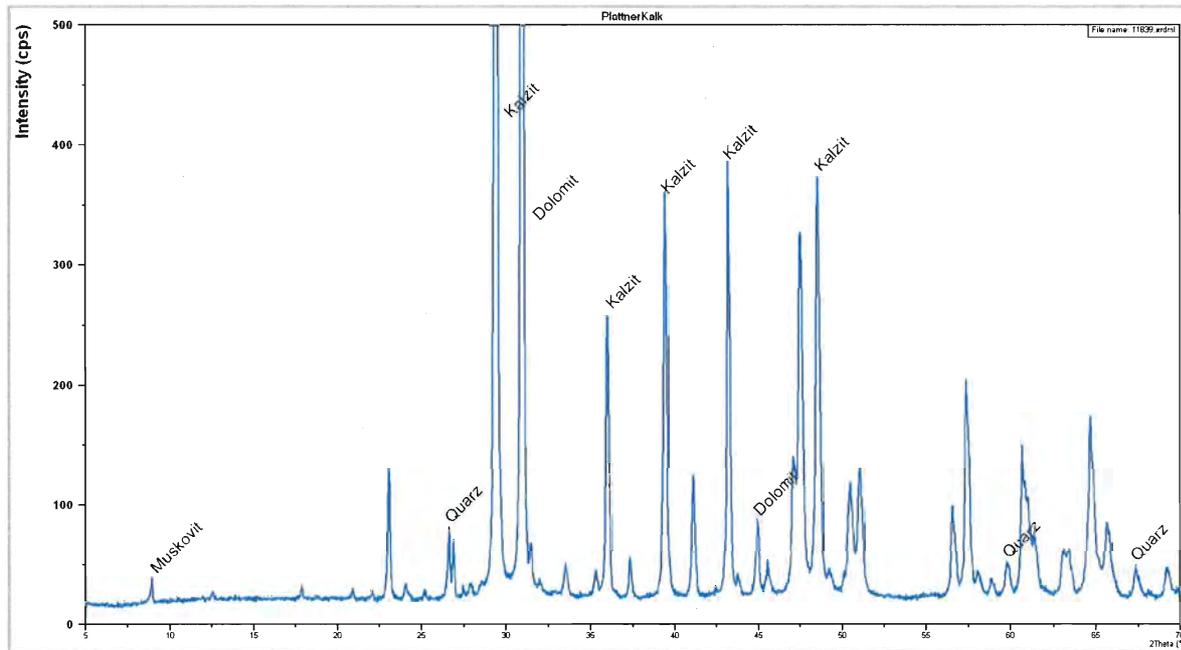


Abbildung 5-5: Diffraktogramm GMA PlattnerKalk

Für die carbonathaltigen Gesteinsmehle, welche Dolomit enthalten, wurde zusätzlich eine STA Analyse gemacht (siehe Abbildung 5-6, Abbildung 5-7, Abbildung 5-9 und Abbildung 5-11). Dadurch wurden genaue Carbonatwerte gewonnen und mit den Ergebnissen der Scheibler Methode verglichen. Alle STA Ergebnisse stimmen mit den Scheibler Werten überein.

In Abbildung 5-6 ist das Ergebnis der STA Analyse für das Kalkmehl der Firma Plattner zu sehen. Der erste Peak ist endotherm und zeigt das Haftwasser der Probe an. Der zweite Peak bei 843°C beginnt ca. bei 600°C und zeigt die Massenänderung der Probe und somit den Gehalt an carbonathaltigen Mineralien an.

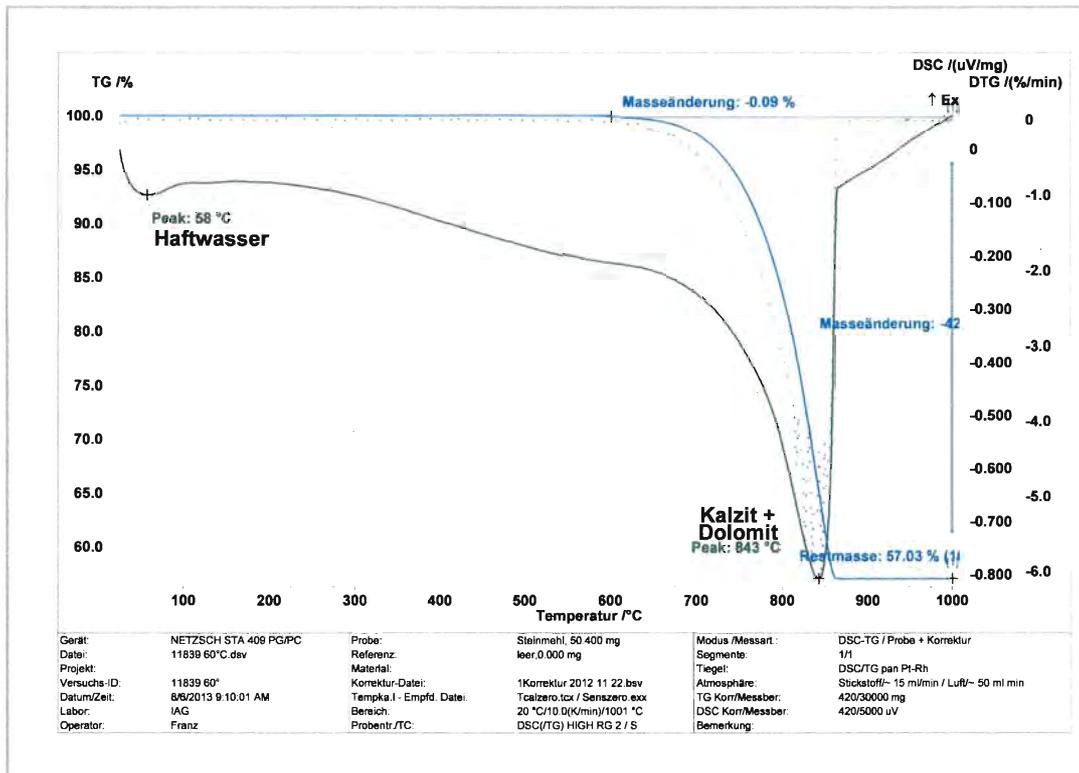


Abbildung 5-6: STA PlattnerKalk

Die STA Analyse bei Dolomit Eberstein bestätigte die Scheibler Werte von 97% Carbonat.

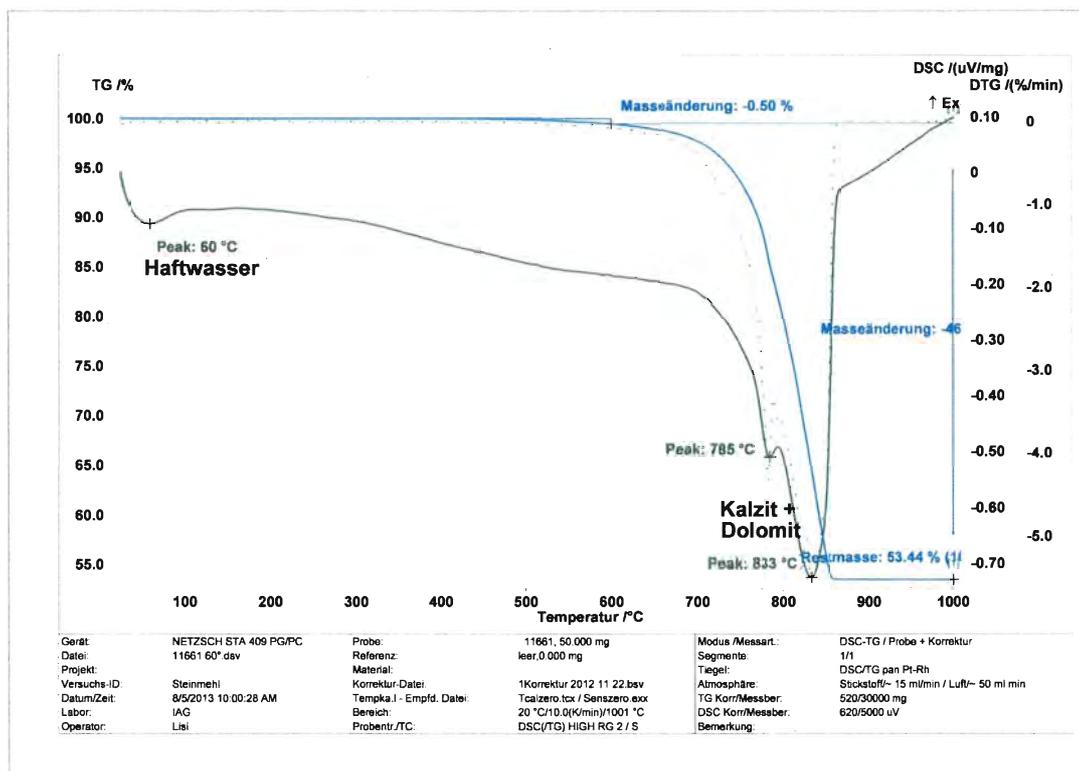


Abbildung 5-7: STA Dolomit Eberstein

Aus den Diffraktogrammen konnte die prozentuelle Aufteilung von Kalzit und Dolomit eruiert werden.

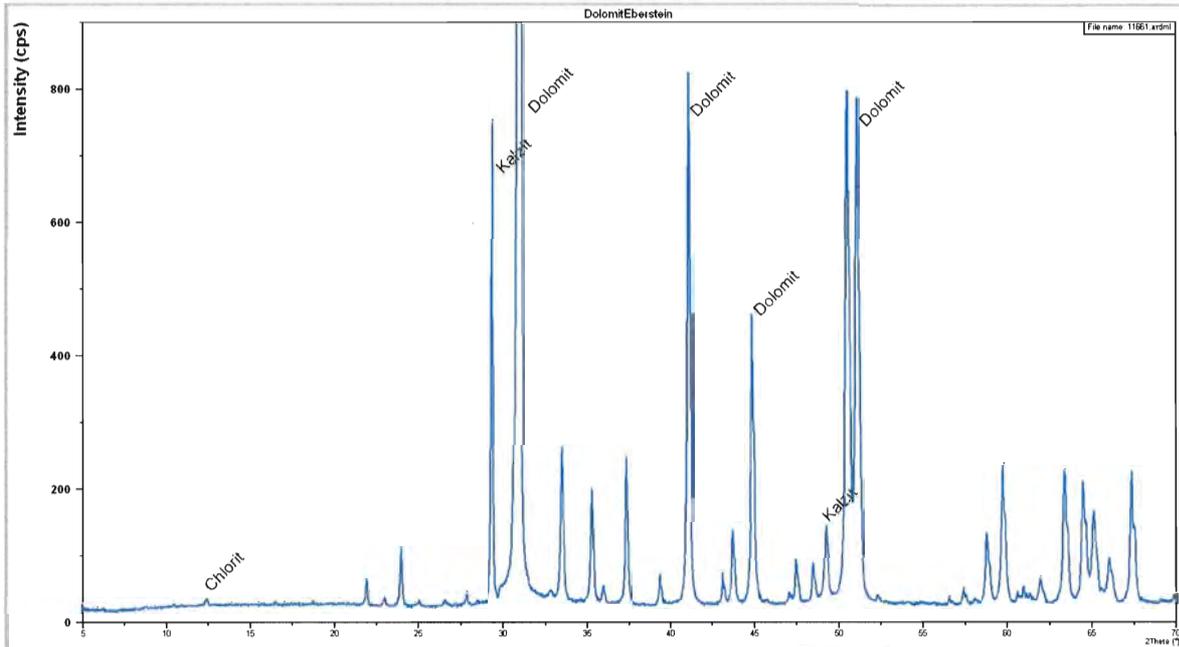


Abbildung 5-8: Diffraktogramm Dolomit Eberstein

In der STA des Steinmehles der Firma Rhomberg ist ein exothermer Peak bei 413°C ersichtlich (siehe Abbildung 5-9). Hierbei kann es sich um Organik aus dem carbonathältigen Gestein handeln.

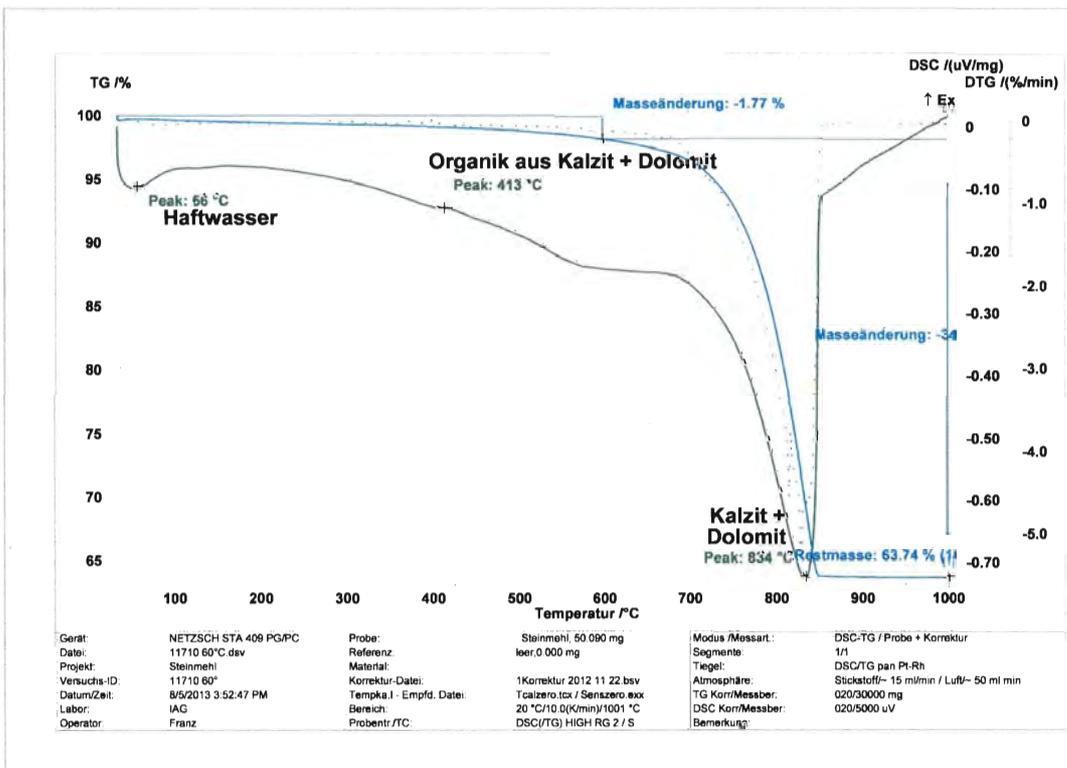


Abbildung 5-9: STA Rhomberg

In Abbildung 5-10 ist das Ergebnis der Röntgendiffraktometrie für das Kalkmehl der Firma Rhomberg abgebildet. Aus den Peakflächen konnte die prozentuelle Verteilung von Kalzit und Dolomit eruiert werden. Auch hier stimmten die Ergebnisse der STA Analyse und der Scheiblermethode mit einem Wert von 80% Karbonatmineral überein.

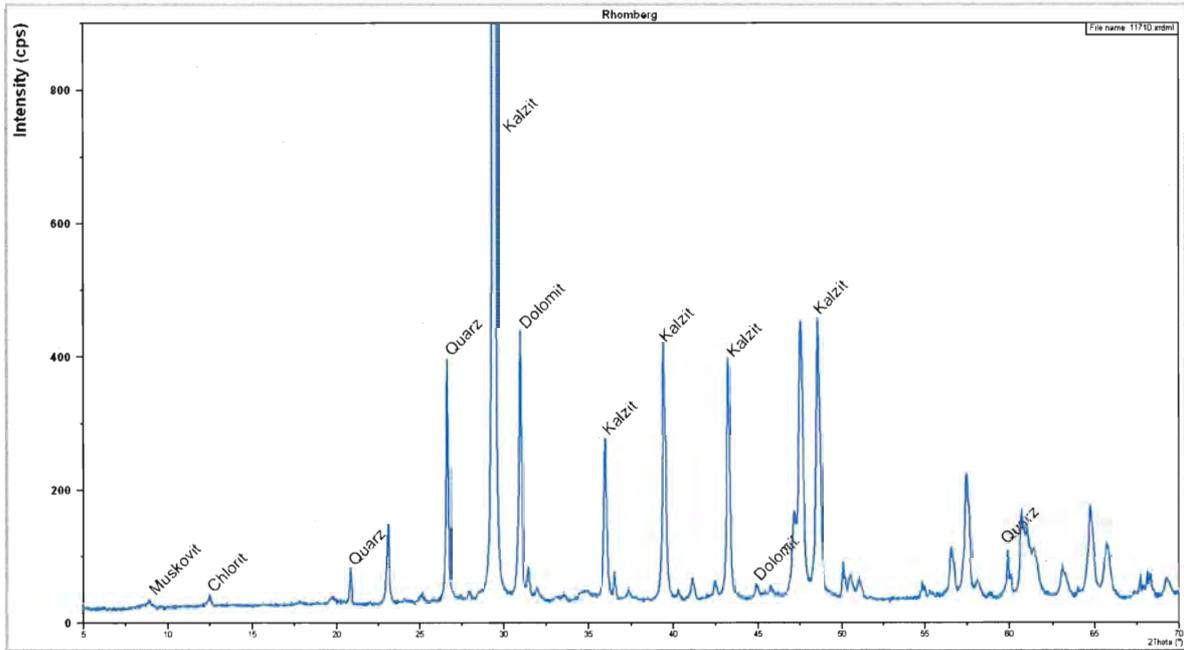


Abbildung 5-10: Diffraktogramm Rhomberg

Beim Carbonatgehalt im Gesteinsmehl der Firma Hollitzer stimmen die Werte vom Scheibler mit den Werten der STA überein (Abbildung 5-11).

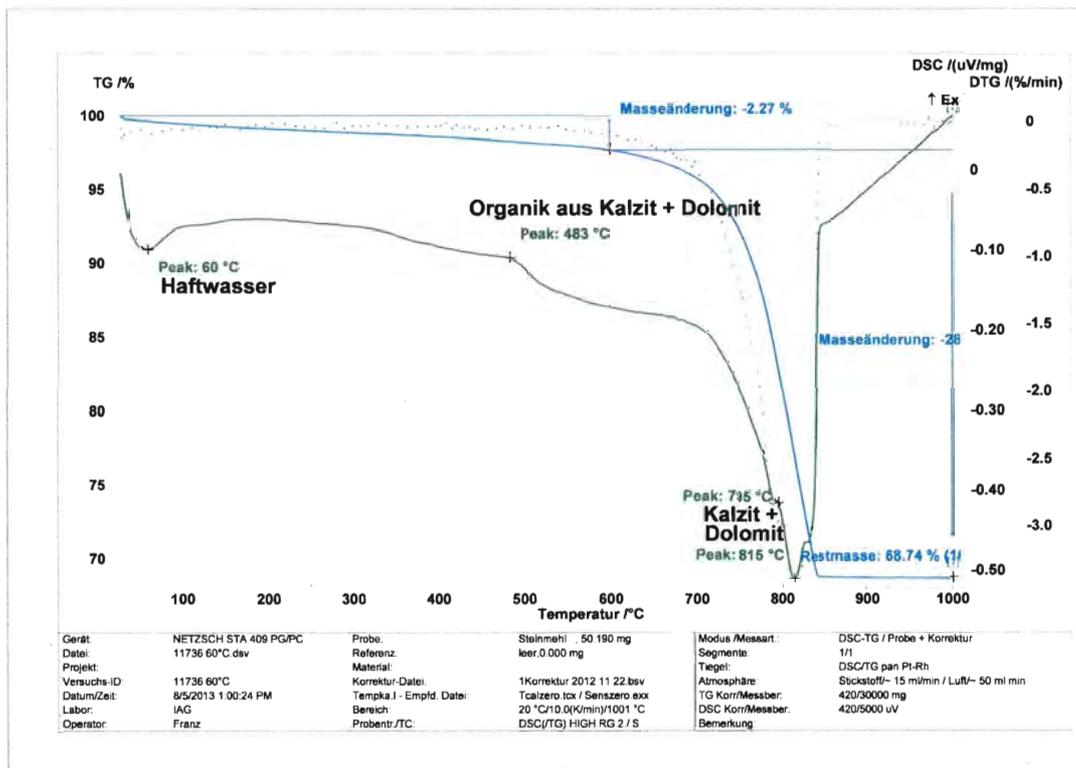


Abbildung 5-11: STA Hollitzer

Aus dem Diffraktogramm (Abbildung 5-12) ist jedoch nicht ersichtlich, welche anderen Mineralien im Gesteinsmehl der Firma Hollitzer vertreten sind, wobei nur 63% des Mineralanteils carbonathältige Mineralien sind und ca. 10% Quarz, Feldspar, Chlorit und Glimmer (siehe Abbildung 5-12) ausmachen. Über 25% des Mineralanteils des Gesteinsmehl der Firma Hollitzer konnten über die GMA und STA nicht erklärt werden.

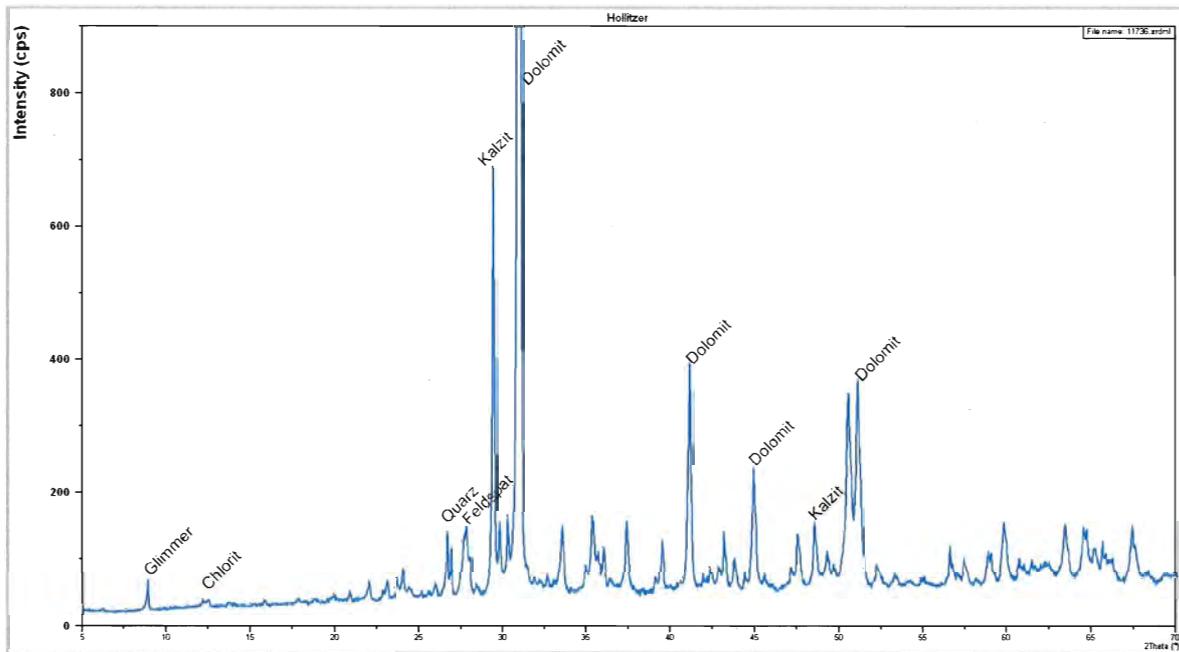


Abbildung 5-12: Diffraktogramm Hollitzer

5.1.4.2 Granitfamilie/ Gneis

In der Kategorie Granitfamilie/Gneis dominieren die Minerale **Feldspat**, **Quarz** und **Glimmer** wie in Tabelle 5-4 ersichtlich.

Die Gesteinsmehle der Firmen Furtner (11657), Immergrün (11659), Schärtinger Granit (11743), Widy's (11791), Hengl (11908) und BrüderRath (11974) sind der Kategorie Granitfamilie/Gneis zugeteilt.

Tabelle 5-4: Auswertung GMA Granitfamilie/Gneis

Granitfamilie/Gneis										
		Glimmer	Amphibolit	Chlorit	Pyroxene	Quarz	KaliFeldspat	Plagioklase	Kalzit	Dolomit
Furtner	11657	*		.		*	**	**		
Immergrün	11659	*	.	**		*		**	2%	1%
SchärdingerGranit	11743	**				**	*	*		
Widy`s	11791	**		.		**	**	**		
Hengl	11908	*		*		**	**	**		
BrüderRath	11974	*				**		*		

Feldspat kommt in allen Gesteinsmehlen vor, wobei **Plagioklase** überall vertreten sind und **Kalifeldspäte** bei Immergrün und Brüder Rath nicht eruiert werden konnten.

Quarz und **Glimmer** sind ein weiterer wichtiger Bestandteil aller Proben, wobei die Marken Furtner und Immergrün die geringsten Quarzanteile zeigen und Glimmer am stärksten bei Schärdinger Granit und Widy`s nachgewiesen werden konnte.

Chlorit kommt bei der Marke Immergrün als Hauptbestandteil vor und bei der Firma Hengl als Nebenbestandteil. Im Gesteinsmehl von Furtner und Widy`s konnte Chlorit nur noch in Spuren nachgewiesen werden.

Das Gesteinsmehl der Marke Immergrün hebt sich hervor, da es in Spuren Amphibolit und karbonathältige Mineralien enthält und neben Plagioklas, Chlorit die Hauptbestandteile sind. Für die Treibhausgasmessungen wurde dieses Gesteinsmehl gewählt.

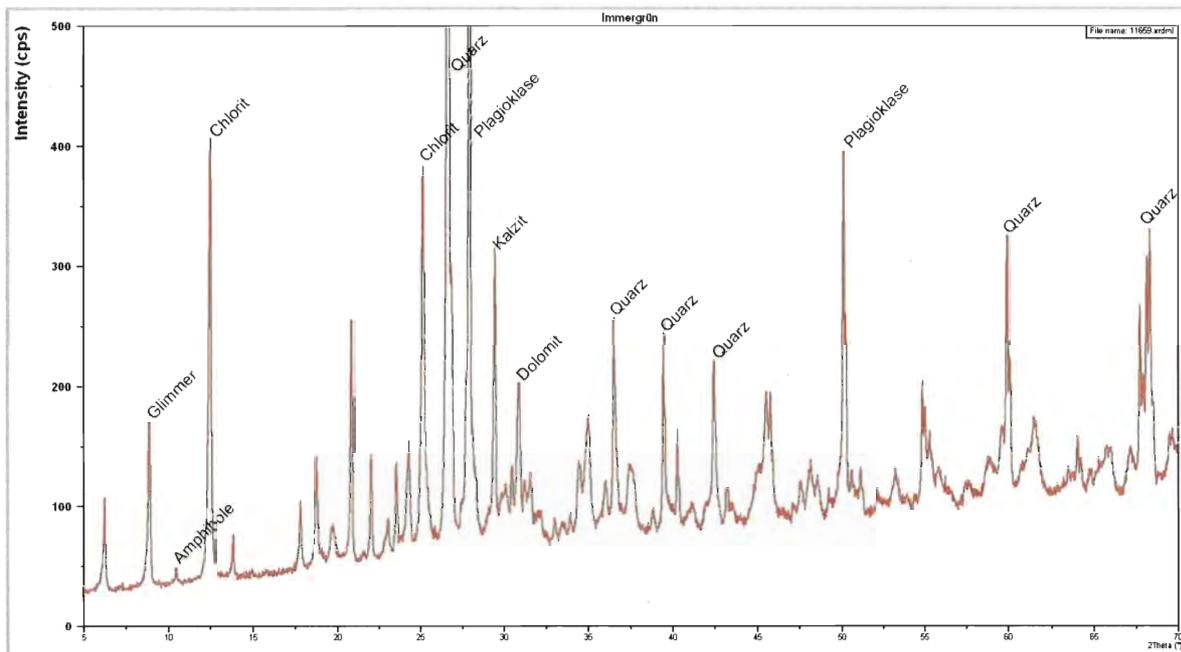


Abbildung 5-13: Diffraktogramm GMA Immergrün

5.1.4.3 Basalt/ Diabas

Die Gesteinsmehle der Firmen Klöcher (11697), Kogler (11699), Pauliberg (11840), Klöch (11962) und Biolit (12118) wurden unter der Kategorie Basalt/Diabas zusammengefasst, wie in Tabelle 5-5 dargestellt.

Tabelle 5-5: Auswertung GMA Basalt/Diabas

Basalt/Diabas												
		Glimmer	Amphibolit	Chlorit	Pyroxene	Quarz	Plagioklase	CC	Dol	Olivin	Magnetite	Nepheiline
Klöcher- Basalt	11697	.			**		**			*	.	*
Kogler	11699	**	*	**		*	**					
Pauliberg	11840	*			**		**			.	.	
Klöch	11962	.			**		**			.	.	*
Biolit	12118	.		**		**	**	2%	8%			

Plagioklase sind in allen Gesteinsmehlen der Kategorie Basalt/Diabas dominierend.

Pyroxene konnten im Gesteinsmehl der Firmen Klöcher, Pauliberg und Klöch als weitere Hauptbestandteile nachgewiesen werden.

Chlorit ist in den Gesteinsmehlen von Biolit und Kogler ein weiterer Hauptbestandteil.

Glimmer kommt bei allen Gesteinsmehlen vor, wobei der höchste Glimmeranteil im Gesteinsmehl der Firma Kogler vorkam und auch im Pauliberg noch Glimmer als Nebenbestandteil festgestellt werden konnte. In den anderen Gesteinsmehlen wurde Glimmer nur noch in Spuren gemessen.

Karbonathaltige Mineralien wurden nur im Gesteinsmehl Biolit mit 8% **Dolomit** und 2% **Kalzit** nachgewiesen.

Für die Treibhausgasmessungen wurde das Gesteinsmehl vom Pauliberg gewählt, welches in seiner mineralogischen Zusammensetzung mit Plagioklase und Pyroxene als Hauptbestandteile, Glimmer als Nebenbestandteil und Olivin sowie Magnetite in Spuren vorhanden (siehe Abbildung 5-14), ein typischer Basalt ist.

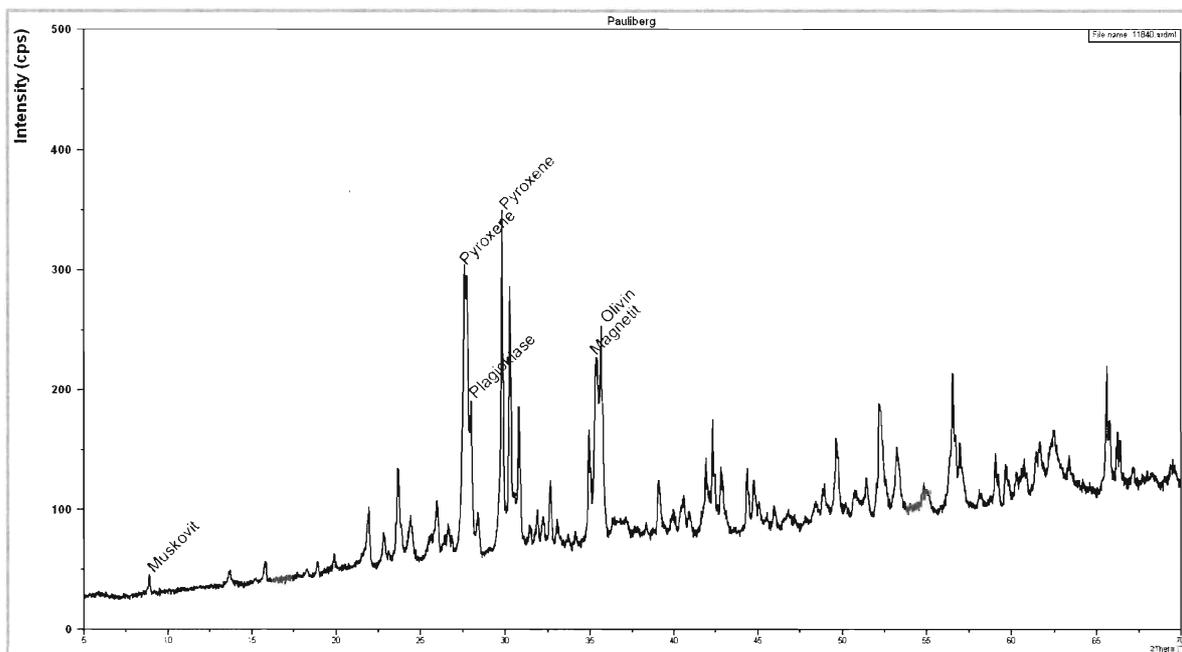


Abbildung 5-14: Diffraktogramm GMA Pauliberg

5.1.4.4 Diverse Gesteine

Unter der Gruppe diverse Gesteine wurden jene Gesteinsmehle eingeteilt, welche vor allem silikathältige Mineralien als Hauptbestandteil vorweisen. Auf Basis der Diffraktogramme konnte jedoch keine genaue Zuordnung zu einem Gestein gemacht werden. Daher wurden diese Gesteinsmehle in die Gruppe diverse Gesteine zusammengefasst.

In Tabelle 5-6 sind die Ergebnisse der Röntgendiffraktometrie für die Gruppe diverse Gesteine ersichtlich.

Die Gesteinsmehle GreenVital (11658), Magnolithe (11733), Schindele (11735), Pinkataler (11737), Jenul (11741), Kärntern Montanindustrie (11835), bellaFlora (11837), Aspanger (11961) und Umweltpionier (13622) wurden in die Gruppe diverse Gesteine eingeteilt.

Tabelle 5-6: Auswertung Gesamtmineralanalyse diverse Gesteine

diverse Gesteine														
		Glimmer	Amphibolit	Chlorit	Pyroxene	Quarz	Kalifeldspat	Plagioklase	Kalzit	Dolomit	Eisenoxide	Olivin	Serpentin	Talk
GreenVital	11658	.		**		.	*	*	18%		.			
Magnolithe	11733		.									.	**	**
Schindele	11735	**		*		***	**	**						
Pinkataler	11737		*	**		.	*	**						
Jenul	11741	**		**		**	.	*	4%	1%				
Kärntn. Montanindustrie	11835	.		*		*			6%	25%	.			
bellaFlora	11837	.	.	*	*	*		***						
Aspanger	11961	*				***		*			.			
Umweltpionier	13622	*		.		***	*	*	12%	5%				

Quarz konnte in allen Gesteinsmehlen der Kategorie diverse Gesteine (mit Ausnahme des Gesteinsmehles der Firma Magnolithe 11733) nachgewiesen werden. Bei den Gesteinsmehlen Schindele, Jenul, Umweltpionier und Aspanger ist Quarz der Hauptbestandteil. Die Gesteinsmehle der Firmen Kärntner Montanindustrie und bellaFlora weisen Quarz als Nebenbestandteil auf und in den Gesteinsmehlen von GreenVital und Pinkataler kommt Quarz nur noch in Spuren vor.

Feldspäte sind (mit Ausnahme des Gesteinsmehles der Firma Magnolithe 11733 und Kärntner Montanindustrie 11835) in den weiteren 7 Gesteinsmehlen sowohl als Kalifeldspat als auch Plagioklase in unterschiedlichen Mengen vorhanden.

Plagioklas tritt häufiger auf und ist in allen 7 Gesteinsmehlen vertreten. Der Anteil von **Kalifeldspat** ist in den Gesteinsmehlen tendenziell niedriger und konnte in den Gesteinsmehlen der Firmen bellaFlora (11837) und Aspanger (11961) nicht nachgewiesen werden.

Chlorit kommt ebenfalls in den meisten Gesteinsmehlen diverser Gesteine als Haupt- und Nebenbestandteil vor. Mit Ausnahme von Magnolithe und Aspanger, wo kein Chlorit nachgewiesen werden konnte und im Gesteinsmehl der Firma Umweltpionier konnten nur Spuren von Chlorit erkannt werden.

Glimmer ist vor allem als Nebenbestandteil oder in Spuren vorhanden. Ausnahmen bilden das Gesteinsmehl der Firma Magnolithe und das Gesteinsmehl der Firma Pinkataler. Die Gesteinsmehle der Firmen Jenul und Schindele weisen den höchsten Glimmergehalt auf.

Spuren von **Amphibolit** ist im Gesteinsmehl der Firma Magnolithe und bellaFlora vorhanden. Im Gesteinsmehl der Firma Pinkataler konnte Amphibolit als Nebenbestandteil zugeordnet werden.

Pyroxene konnten ausschließlich im Gesteinsmehl der Firma bellaFlora nachgewiesen werden.

Kalzit tritt in geringen Mengen von 4% im Gesteinsmehl der Firma Jenul, gefolgt von 6% im Gesteinsmehl der Firma Kärntner Montanindustrie auf. Im Gesteinsmehl Jenul ist weiters eine Spur (1%) **Dolomit** vorhanden, wobei beim Gesteinsmehl der Kärntner Montanindustrie 25% **Dolomit** nachgewiesen werden konnte. Bei den Gesteinsmehlen GreenVital und Umweltpionier konnte ein ähnlicher Karbonatanteil eruiert werden. Wobei es sich bei GreenVital um 18% **Kalzit** handelt und das Gesteinsmehl der Firma Umweltpionier neben 12% **Kalzit** auch 5% **Dolomit** beinhaltet. Im Gesteinsmehl der Firmen Magnolithe, Schindele, Pinkataler, bellaFlora und Aspanger konnte kein Karbonatanteil festgestellt werden.

Das Gesteinsmehl der Firma Magnolithe hebt sich hervor, da es als einziges **Serpentin** und **Talk** als Hauptbestandteile und **Olivin** in Spuren nachgewiesen bekam.

Die Gesteinsmehle der Firma Aspanger und bellaFlora wurden für die Treibhausgasversuche aus der Kategorie diverse Gesteine ausgewählt. Die Diffraktogramme sind in Abbildung 5-15 für das Aspanger Gesteinsmehl und in Abbildung 5-16 für das Gesteinsmehl der Marke bellaFlora dargestellt.

Das Gesteinsmehl der Firma Aspanger hat einen hohen Quarzanteil. Plagioklase und Muskovit wurden als Nebenbestandteile festgelegt.

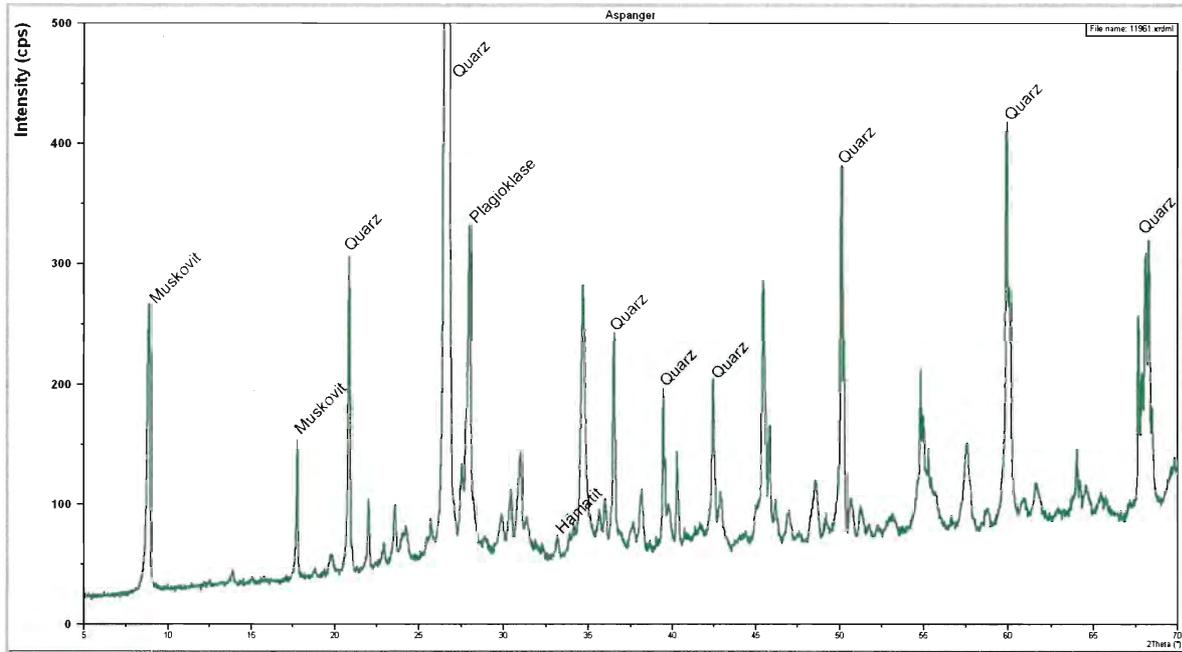


Abbildung 5-15: Diffraktogramm GMA Aspanger Gesteinsmehl

Das Gesteinsmehl der Marke bellaFlora fällt durch den sehr hohen Plagioklasanteil auf. Quarz, Chlorit und Pyroxene werden als Nebenbestandteile geführt.

Beide Diffraktogramme lassen eine leichte Steigung der „Basislinie“ erkennen, was auf eisenhaltige Substanzen hinweist. Im Falle des Gesteinsmehl der Marka bellaFlora handelt es sich um eisenhaltige Pyroxene und Amphibole, während im Gesteinsmehl der Firma Aspanger Hämatit nachgewiesen werden konnte.

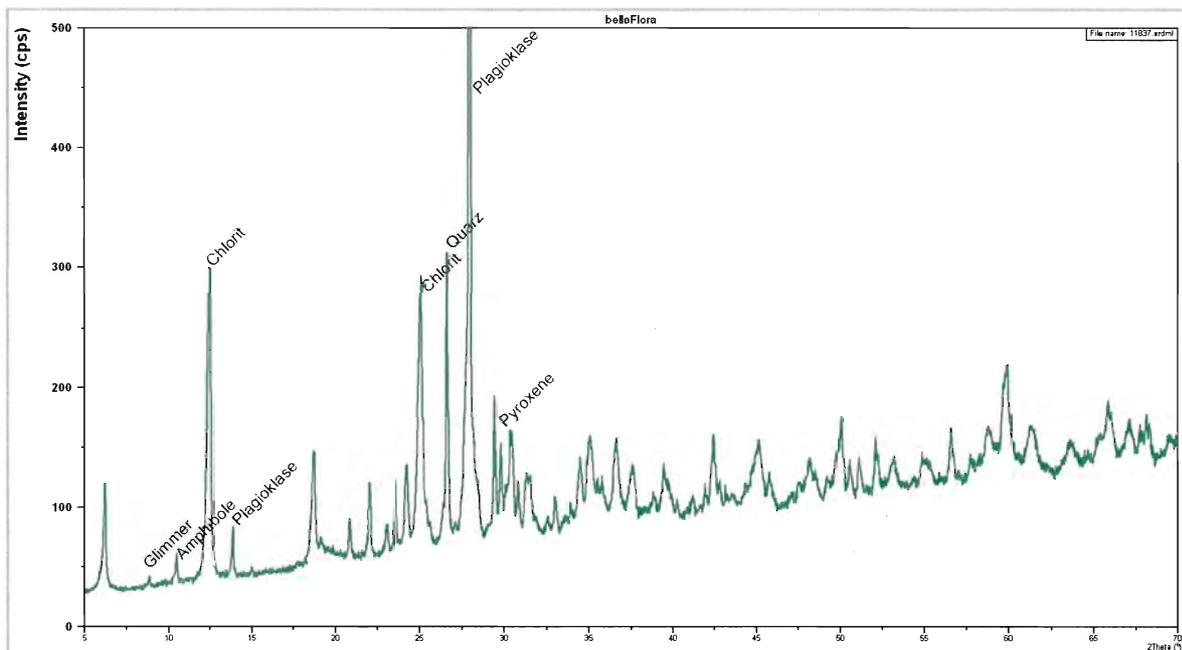


Abbildung 5-16: Diffraktogramm GMA bellaFlora

5.1.1 Korngrößenanalyse

Die Grafiken der Korngrößenanalyse sind unterteilt in carbonathältige Gesteinsmehle (Kalkmehle) und silikathältige Gesteinsmehle. Die beiden Gruppen wurden aus Gründen der besseren Übersicht nochmals unterteilt in grob, mittel und fein. Wobei zuerst bei jedem Gesteinsmehl manuell ertastet wurde, ob Sandkörner zu spüren sind bzw. ob man die Sandkörner bei Reibung hören kann. Diese Gesteinsmehle wurden in die Kategorie grob eingeteilt. Die Kategorie mittel beinhaltet Gesteinsmehle, welche sich wie griffiges Mehl anfühlten, und in die Kategorie fein kamen jene Gesteinsmehle, wo ein Großteil der Probe auf den Fingern haften blieb. Innerhalb der drei Unterkategorien grob, mittel und fein erfolgte eine Reihung nach Tonanteil.

5.1.1.1 Karbonathältige Gesteinsmehle

Die beiden Proben vom SölkerMarmor und das Kalkmehl der Firma Renz weisen den größten Sandanteil der karbonathältigen Gesteinsmehle vor. Mit einem Schluffanteil zwischen 16,5 und 26,5% und einem kleinem Tonanteil zwischen 1,5 und 3,3% vertreten sie die Gruppe der groben karbonathältigen Gesteinsmehle. Die Korngröße Kies kam bei den karbonathältigen Gesteinsmehlen nicht vor. Die Firma Renz hat von den drei Proben den größten Sandanteil mit 80,3% und den größten Tonanteil mit 3,3%.

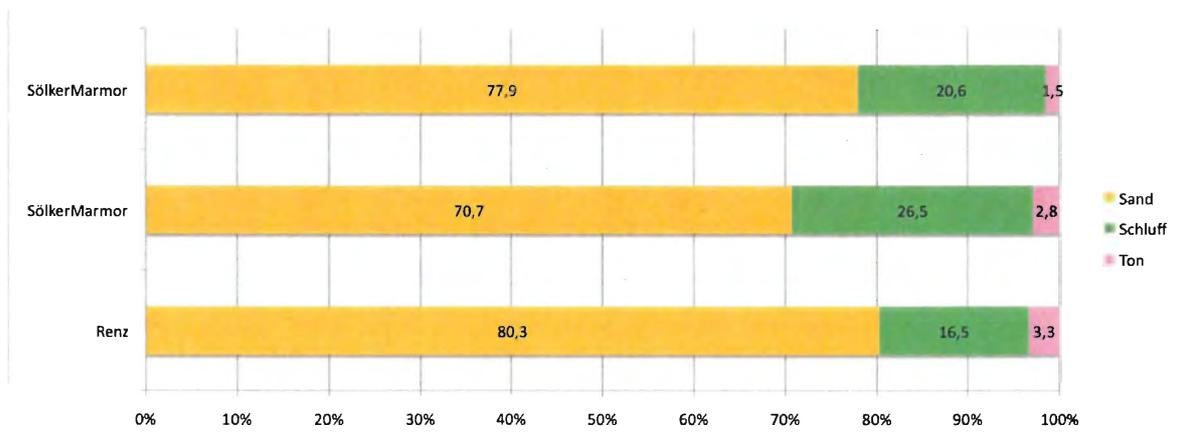


Abbildung 5-17: Korngrößenverteilung karbonathältige Gesteinsmehle Kategorie "grob"

Die Korngrößenverteilung der beiden SölkerMarmor Kalkmehle in der Korngröße Sand ist ähnlich, wobei Mittel- und Feinsand dominieren. In der Sandfraktion des Renzer Kalkmehles dominiert Grob- und Mittelsand. In Abbildung 5-18 ist die unterschiedliche Verteilung in der Korngrößenfraktion Sand zwischen Sölker Marmor und Renz ersichtlich.

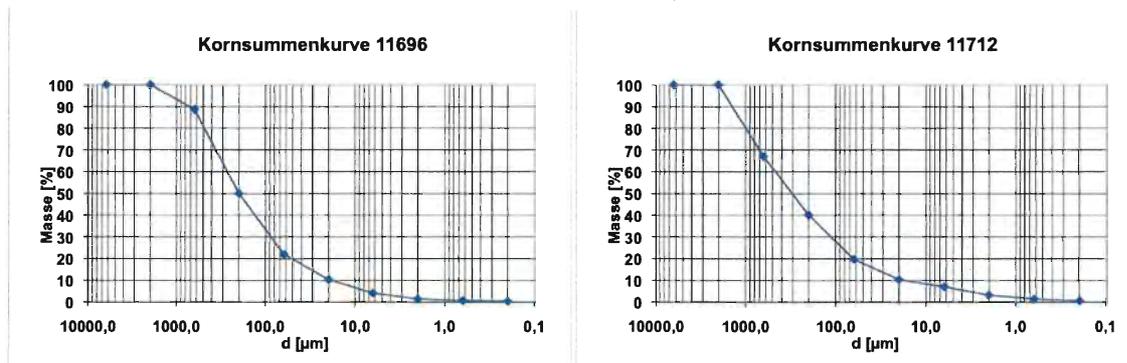


Abbildung 5-18: Kornsummenkurve SölkerMarmor im Vergleich zu Renz

In der Kategorie „mittel“ der Korngrößenverteilung wurden die karbonathältigen Gesteinsmehle der Marke Ikosan, sowie der Firmen PlattnerKalk, Marko, Hollitzer, Keckeis und Wietersdorfer eingeteilt. Die Vertreter der Kategorie Mittel weisen eine große Schluffanteil auf, welche sich von 52,8% bei der Marke Ikosan bis 78,9% bei der Firma PlattnerKalk erstreckt. Die Sandfraktion der Kategorie Mittel schwankt stark zwischen 13,3% der Firma PlattnerKalk bis 44,8% der Marke Ikosan. Die Firmen Marko, Wietersdorfer, Keckeis und Hollitzer stehen in ihrem Sand- und Schluffanteil zwischen Ikosan und Plattnerkalk, wobei die Kalkmehle der Firma Marko und Wietersdorfer sehr ähnlich in ihrer Korngrößenverteilung aufgeteilt sind mit ca. $\frac{1}{4}$ Sandanteil und 62% bzw. 64% Schluffanteil. Eine idente Korngrößenverteilung haben das Dolomitmehl der Firma Hollitzer und das Kalkmehl der Firma Keckeis mit 13,8% Sandanteil. Der Sandanteil von 13,8% ist um Spuren größer als der Sandanteil der Firma Plattnerkalk, jedoch weisen die karbonathältigen Gesteinsmehle der Firmen Hollitzer und Keckeis einen etwas geringeren Schluffanteil (74,9%) auf als beim Kalkmehl der Firma Plattner. Den größten Tonanteil weisen die vier, zuvor in der Mitte stehenden, karbonathältigen Gesteinsmehle der Firma Marko (11%), Keckeis und Hollitzer (11,3%) sowie Wietersdorfer (11,9%) auf. Den geringsten Tonanteil in der Kategorie Mittel bei den karbonathältigen Gesteinsmehlen wurde bei den beiden Proben der Marke Ikosan mit 2,4% bzw. 3,3% eruiert. PlattnerKalk befindet sich beim Tonanteil in der Mitte der „mittleren“ karbonathältigen Gesteinsmehle mit 7,8%.

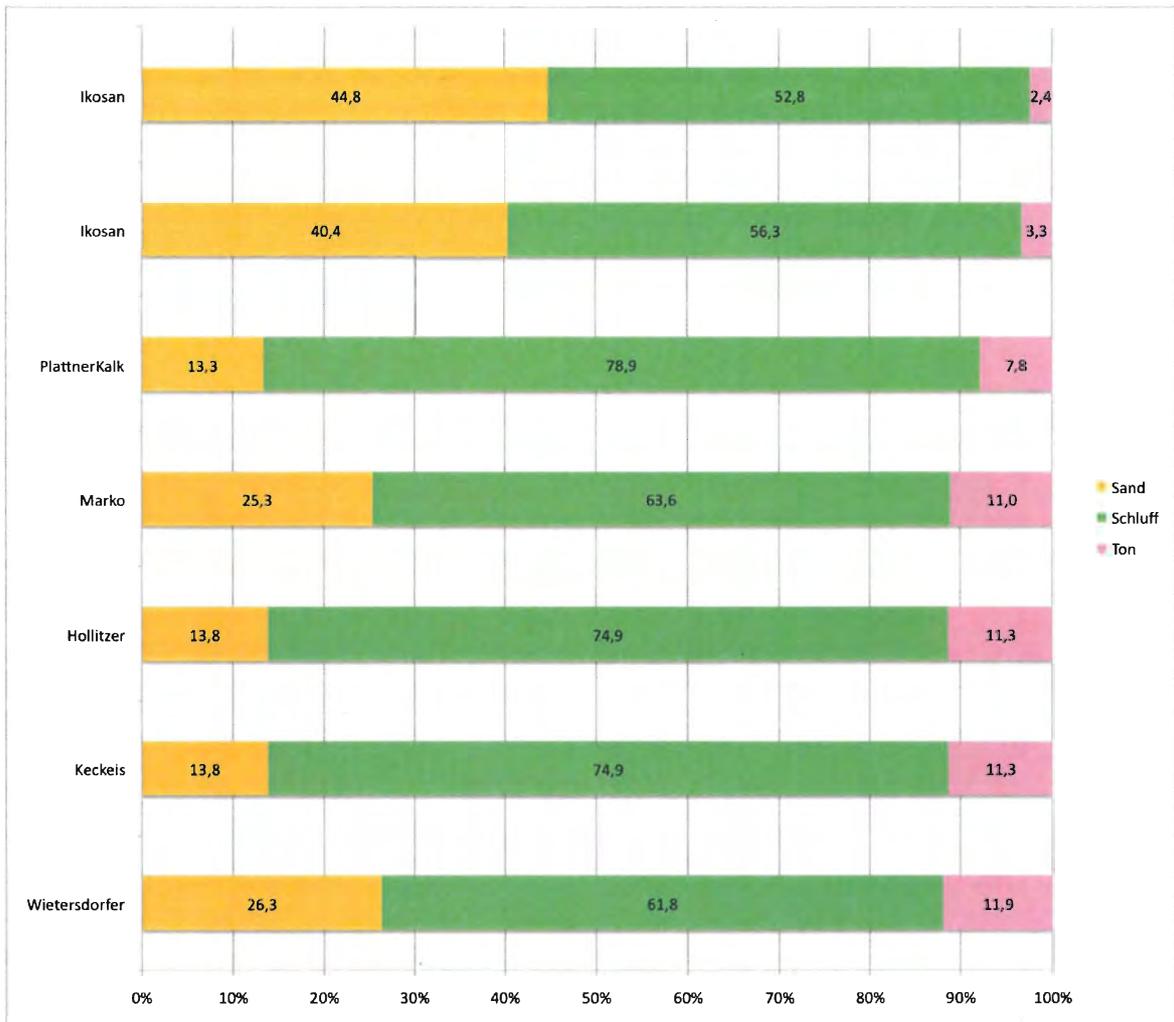


Abbildung 5-19: Korngrößenverteilung karbonathaltige Gesteinsmehle Kategorie "mittel"

Die Firmen Marko und Wietersdorfer sind sehr ähnlich in ihrer Korngrößenverteilung. In Abbildung 5-20 ist der Unterschied in der Kornsummenkurve bei der Kornfraktion Schluff erkennbar. Beim Kalkmehl der Firma Marko ist Grobschluff dominierend, wogegen bei der Firma Wietersdorfer der Feinschluff den Hauptanteil trägt.

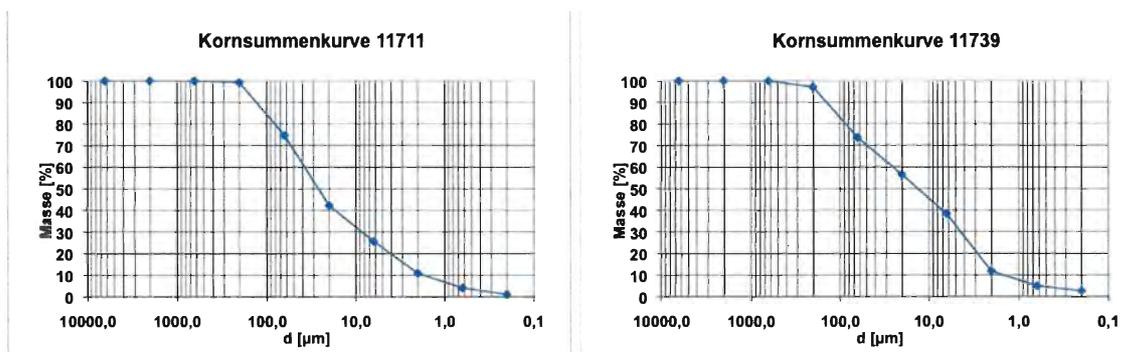


Abbildung 5-20: Kornsummenkurve Marko im Vergleich zu Wietersdorfer

In der Kategorie „fein“ bei den karbonathaltigen Gesteinsmehlen dominiert der Schluffanteil gefolgt vom Tonanteil (siehe Abbildung 5-21). Der Schluffanteil bewegt sich zwischen 67,1% bei der Firma Wietersdorfer bis 84,5% beim Dolomitmehl der Firma Eberstein und der Tonanteil ist beim Dolomitmehl der Firma Eberstein mit 11,9% am geringsten und mit 27,9% bei der Firma Wietersdorfer am größten. Der Sandanteil ist beim Kalkmehl der Firma Baumit mit 11,9% am größten, während beim Kalkmehl der Firma Omya kein Sand gefunden wurde.

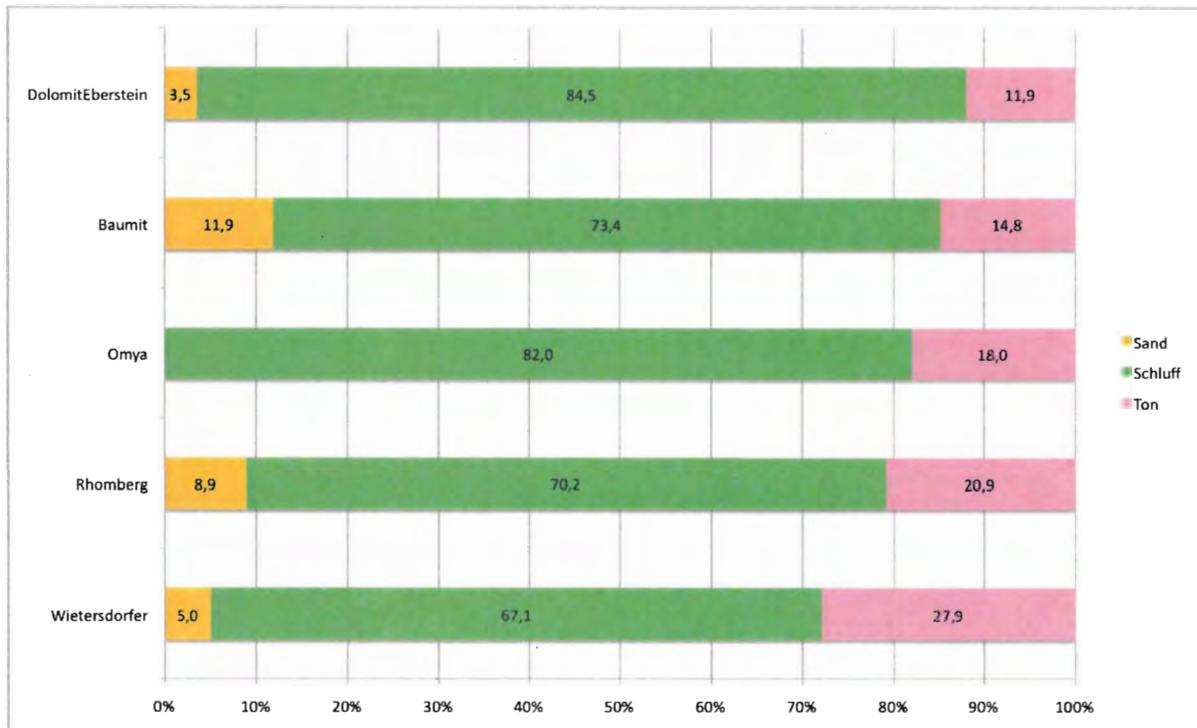


Abbildung 5-21: Korngrößenverteilung karbonathältige Gesteinsmehle Kategorie "fein"

In Abbildung 5-22 sind die Kornsummenkurven für die Gesteinsmehle von Omya und Wietersdorfer (fein) dargestellt. Obwohl Wietersdorfer einen höheren Tonanteil hat, gleicht Omya dies mit einem hohen Feinschluffanteil aus.

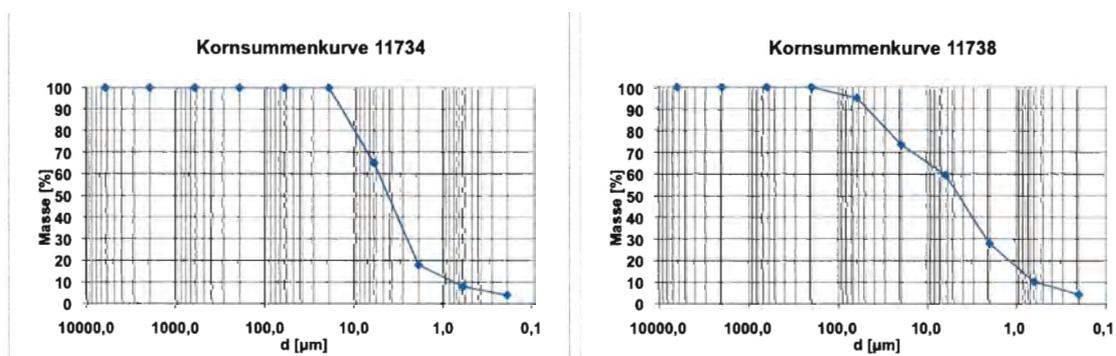


Abbildung 5-22: Kornsummenkurve Omya im Vergleich zu Wietersdorfer (fein)

Es ergeben sich daraus drei karbonathältige Gesteinsmehle für die Kategorie „grob“, sieben für die Kategorie „mittel“ und fünf in der Kategorie „fein“. Wobei die Gesteinsmehle der Firma Hollitzer und Keckeis aus der Kategorie „mittel“ sehr Nahe an der Grenze zur Kategorie „fein“ angesiedelt sind (siehe Tabelle 5-7).

Tabelle 5-7: karbonathältige Gesteinsmehle gesamt Korngrößenanteil in %

Karbonathältige Gesteinsmehle													
Grob													
Nr.	Firmenbez.	MK	FK	GS	MS	FS	GU	MU	FU	GT	MT	FT	m
11712	Renz	0,0	0,0	33,0	26,8	20,4	9,4	3,3	3,8	1,9	0,8	0,7	300
11695	SölkerMarmor	0,0	0,0	0,1	34,9	35,7	13,6	8,6	4,2	1,4	0,8	0,6	120
11696	SölkerMarmor	0,0	0,0	11,3	38,6	28,0	11,7	6,2	2,7	0,7	0,3	0,4	200
Mittel													
11739	Wietersdorfer	0,0	0,0	0,0	2,8	23,5	17,1	18,1	26,6	6,8	2,3	2,8	14
11838	Keckeis	0,0	0,0	0,0	0,0	13,8	29,8	26,0	19,2	6,2	2,8	2,3	17
11736	Hollitzer	0,0	0,0	0,0	0,9	12,8	23,7	34,4	16,9	5,6	3,1	2,5	14
11711	Marko	0,0	0,0	0,0	0,7	24,6	32,3	16,5	14,8	6,8	3,0	1,3	28
11839	PlattnerKalk	0,0	0,0	0,0	1,2	12,2	31,0	27,8	20,0	3,3	3,3	1,1	18
11698	Ikosan	0,0	0,0	0,1	7,6	32,7	34,1	16,1	6,1	1,5	1,3	0,5	52
11660	Ikosan	0,0	0,0	0,1	11,2	33,5	28,9	14,0	10,0	1,8	0,5	0,0	50
Fein													
11738	Wietersdorfer	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	21,6	13,9	31,6	17,6	5,9	4,4	4,5
11710	Rhomberg	0,0	0,0	0,0	0,4	8,5	23,8	24,9	21,5	11,4	4,7	4,7	9
11734	Omya	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	35,0	47,0	10,0	4,0	4,0	4,5
11740	Baumit	0,0	0,0	0,2	0,5	11,2	23,8	23,8	25,7	7,7	3,9	3,2	10
11661	DolomitEberstein	0,0	0,0	0,0	0,3	3,3	26,2	37,2	21,1	5,6	3,5	2,8	10

5.1.1.2 Silikathältige Gesteinsmehle

Bei den silikathältigen Gesteinsmehlen wurden sechs Gesteinsmehle in die Kategorie „grob“, weitere sechs in die Kategorie „mittel“ und acht in die Kategorie „fein“ eingeteilt (siehe Tabelle 5-8).

Tabelle 5-8: silikathältige Gesteinsmehle gesamt Korngrößenanteil in %

Silikathältige Gesteinsmehle													
Grob													
Nr.	Firmenbez.	MK	FK	GS	MS	FS	GU	MU	FU	GT	MT	FT	m
11658	GreenVital	0,0	12,4	46,5	14,5	10,3	3,2	3,5	2,7	1,6	3,1	2,1	800
11699	Kogler	0,0	3,9	24,2	16,5	15,3	15,6	10,7	8,1	2,9	0,6	2,3	150
11962	Klöch	0,8	23,1	26,2	18,1	10,0	6,8	5,9	3,4	1,7	1,8	2,2	630
11791	Widy`s	0,0	0,0	4,5	23,1	29,4	19,8	9,3	8,4	3,3	1,6	0,7	80
11837	bellaFlora	0,0	12,6	43,1	21,3	11,0	2,7	1,4	2,7	2,1	1,9	1,1	750
11835	KärntnerMontan	0,0	8,0	34,3	34,4	14,3	3,5	3,8	0,9	0,4	0,3	0,1	500
Mittel													
11659	Immergrün	0,0	0,0	0,0	0,9	36,5	17,1	14,1	12,8	9,1	5,9	3,6	28
11741	Jenul	0,0	0,0	0,2	2,6	20,7	30,3	24,5	11,5	4,6	1,8	3,7	24
11908	Hengl	0,0	0,2	0,0	0,2	16,5	46,7	14,8	12,7	6,5	1,5	0,8	29
11737	Pinkataler	0,0	0,0	4,9	17,9	16,0	19,7	21,6	11,2	3,3	2,1	3,3	33
11697	KlöcherBasalt	0,0	0,0	0,1	2,9	31,5	37,1	11,9	8,5	4,0	1,7	2,3	40
11961	Aspanger	0,0	0,0	0,0	0,2	30,3	51,3	14,1	2,6	0,7	0,5	0,2	40
Fein													
13622	Umweltpionier	0,0	0,0	0,9	3,4	16,6	10,6	10,9	22,1	20,7	13,9	0,8	4
11735	Schindele	0,0	0,0	0,0	0,2	6,4	31,5	18,6	21,1	9,3	6,2	6,8	10
11743	SchärdingerGranit	0,0	0,0	0,2	1,0	5,2	19,6	26,6	26,6	11,8	5,2	3,7	7
11733	Magnolithe	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,3	51,7	19,9	7,3	5,4	6,3	8
11974	Rath	0,0	0,0	1,5	0,2	1,8	19,8	33,8	26,4	10,7	4,4	1,4	8
12118	Biolit	0,0	0,0	0,0	0,0	21,8	27,6	16,4	19,4	10,4	3,5	0,9	20
11657	Furtner	0,0	0,0	0,1	0,2	8,5	35,3	24,5	17,5	7,0	3,5	3,5	17
11840	Pauliberg	0,0	0,0	0,0	0,5	8,4	34,1	34,3	12,6	5,7	2,3	2,3	18

Die silikathältigen Gesteinsmehle der Firmen Kärntner Montanindustrie, Widy`s, Klöch, Kogler und der Marken bellaFlora sowie Greenvital wurden in die Kategorie „grob“ eingeteilt (siehe Abbildung 5-23). In der Kategorie „grob“ dominiert die Sandfraktion mit einem Korngrößenanteil von 54,3% (Klöch) bis 83% (Kärntner Montanindustrie), gefolgt von der Korngröße Schluff mit einem Anteil von 6,8% (bellaFlora) bis 37,5% (Widy`s) bei den silikathältigen Gesteinsmehlen. Bis auf das Gesteinsmehl der Firma Widy`s kommt in allen anderen Gesteinsmehlen der Kategorie „grob“ die Korngröße Kies von 3,9% (Kogler) bis 23,8% (Klöch) vor. Der Großteil der silikathältigen Gesteinsmehle in dieser Kategorie (bellaFlora, Widy`s, Klöch, Kogler und GreenVital) enthalten einen Tonanteil zwischen 5% und 7%. Einen sehr geringen Tonanteil von 0,8% wurde bei Kärntner Montanindustrie gemessen.

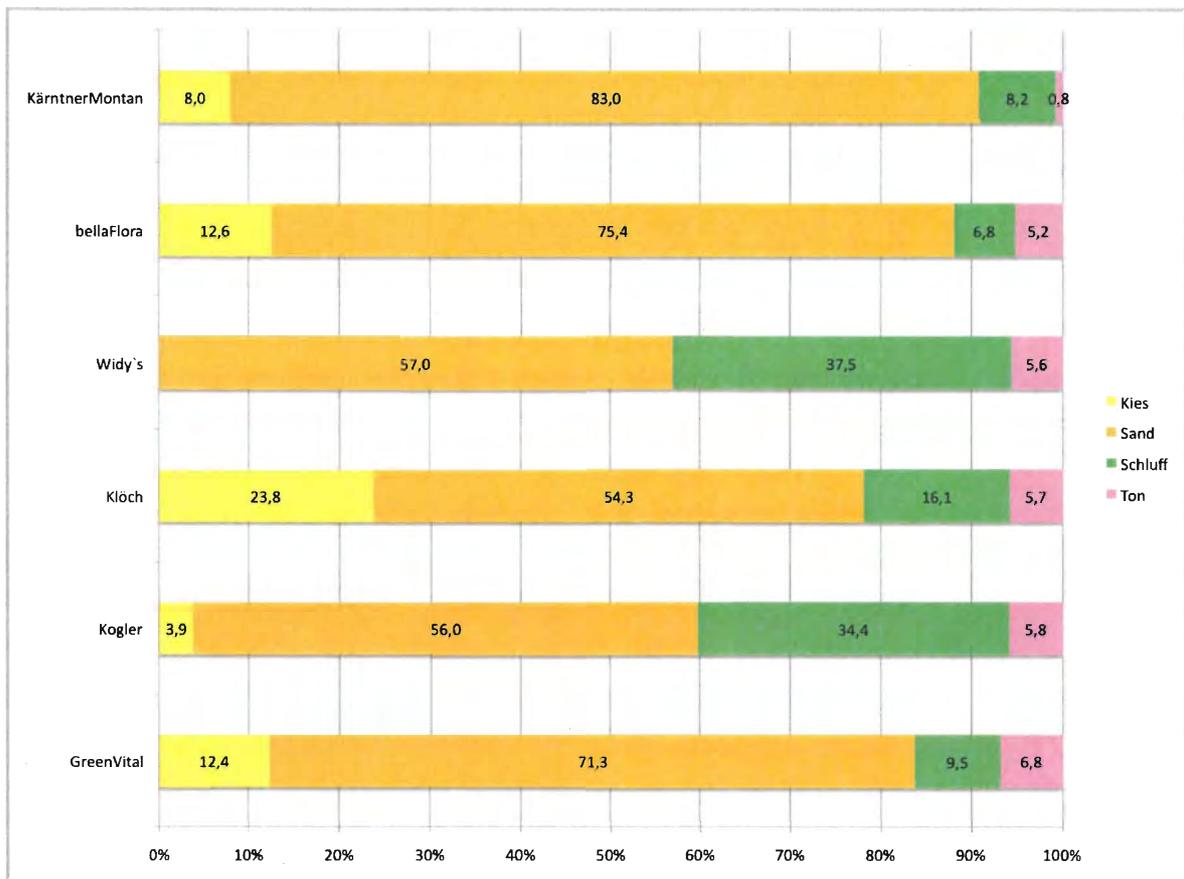


Abbildung 5-23: Korngrößenverteilung silikathältige Gesteinsmehle Kategorie "grob"

Das Gesteinsmehl der Firma Klöch hat den größten Kiesanteil mit 23,8%. In Abbildung 5-24 wird ersichtlich, dass der Großteil (fast 50%) der Korngrößen bei GreenVital Grobsand ausmacht. Vergleicht man die Kornsummenkurven von Klöch und GreenVital, so ist der größte Unterschied im Anteil von Feinkies und Grobsand zu finden, wobei GreenVital 60% der Korngrößenverteilung in diesem Bereich hat und Klöch 50%.

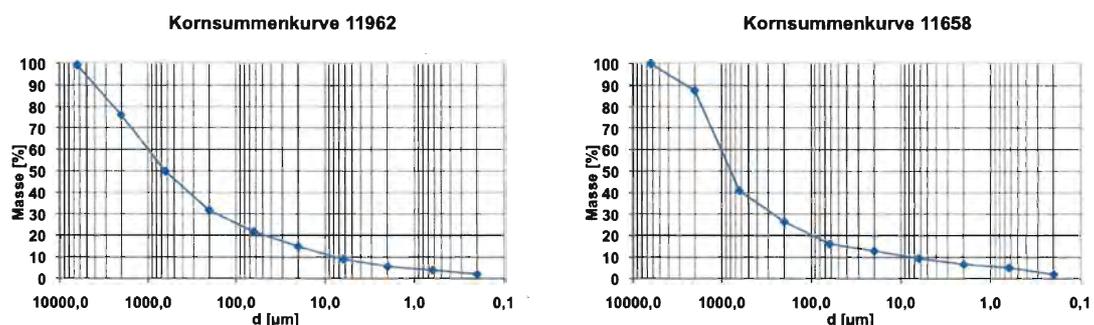


Abbildung 5-24: Kornsummenkurve Klöch im Vergleich zu GreenVital

In der Kategorie „mittel“ der silikathaltigen Gesteinsmehle ist ein deutlicher Rückgang des Sandanteils im Vergleich zur Kategorie „grob“ zu erkennen (siehe Abbildung 5-25). Über

50% Sandanteil als niedrigster Wert der Korngröße Sand bei der Kategorie „grob“ steht bei der Kategorie „mittel“ der höchste Wert von 38,7% Sandanteil beim Gesteinsmehl der Pinkataler Schotterwerke gegenüber. Bei allen 6 Gesteinsmehlen (Aspanger, Klöcher Basalt, Pinkataler, Hengl, Jenul und Immergrün) wurde kein Kiesanteil festgestellt. Den größten Anteil aller 6 Gesteinsmehle nahm Schluff ein, von 44% bei der Marke Immergrün bis 74,2% bei der Firma Hengl. Bei der Tonfraktion verhält es sich anders. Hier ist die Marke Immergrün mit dem höchsten Tonanteil von 18,7% gegenüber der Firma Aspanger mit dem niedrigsten Tonanteil von 1,5% über 12mal so hoch vertreten. Die restlichen vier Gesteinsmehle KlöcherBasalt, Pinkataler, Hengl und Jenul ergaben einen Tonanteil zwischen 8% und 10%.

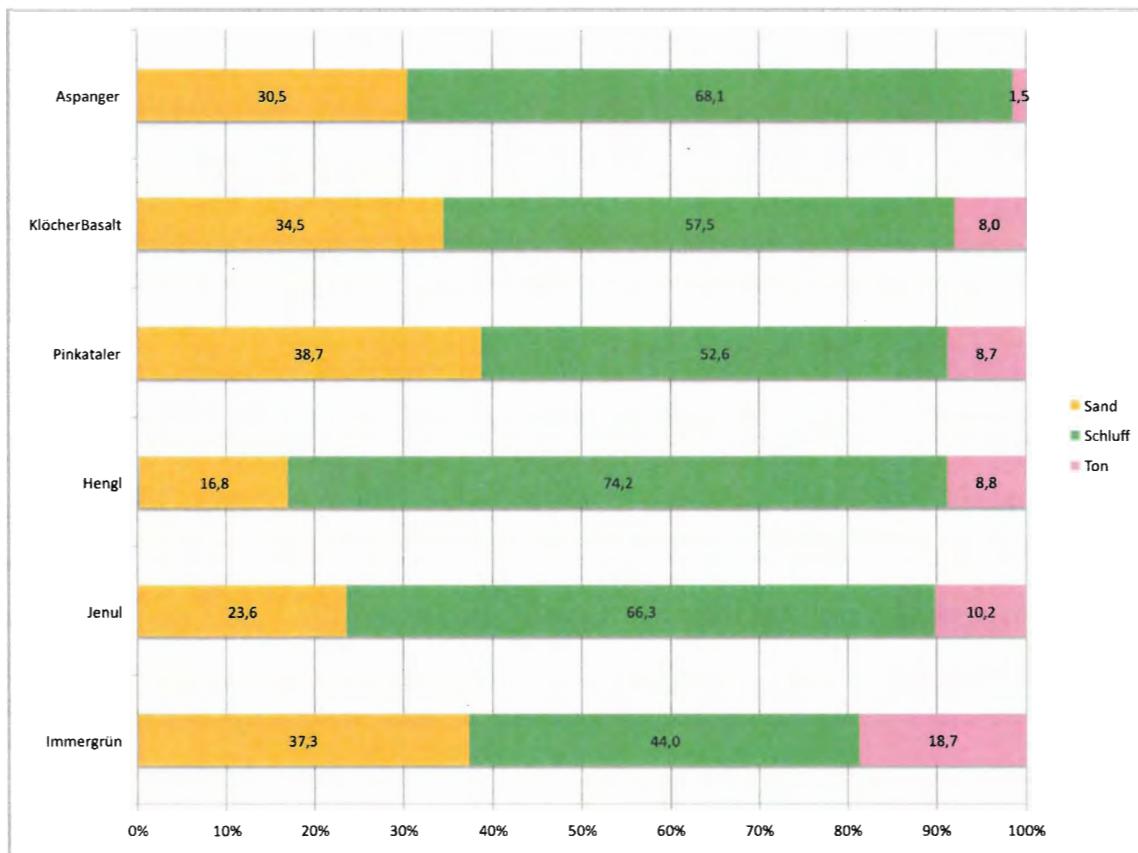


Abbildung 5-25: Korngrößenverteilung silikathältige Gesteinsmehle Kategorie "mittel"

Die Korngrößenverteilung der Gesteinsmehle Klöcher-Basalt und Pinkatkaler sind annähernd gleich. In der Kornsummenkurve in Abbildung 5-26 ist der Unterschied in der Sand- und Schlufffraktion der beiden Gesteinsmehle ersichtlich. Klöcher Basalt hat vor allem Feinsand (31%) und Grobschluff (37%), während sich beim Gesteinsmehl der Firma Pinkataler die Korngrößen gleichmäßig von Mittelsand (18%) über Feinsand (16%) und Grobschluff (20%) bis Mittelschluff (22%) verteilen.

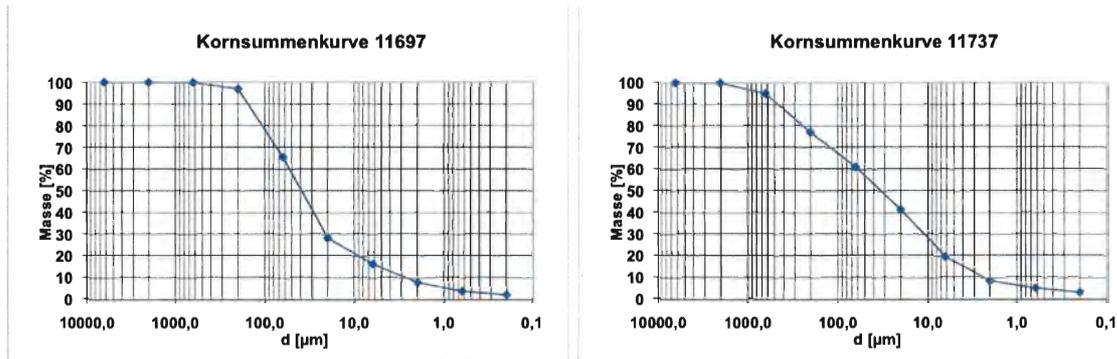


Abbildung 5-26: Kornsummenkurve KlöcherBasalt im Vergleich zu Pinktaler

Mit acht Gesteinsmehlen ist die Kategorie „fein“ die größte Kategorie bei den silikathaltigen Gesteinsmehlen (siehe Abbildung 5-27). Die Gesteinsmehle Pauliberg, Furtner, Biolit, Rath, Magnolithe, Schäringer Granit, Schindele und Umweltpionier wurden in die Kategorie „fein“ eingeordnet. Der Hauptanteil der Korngrößen dieser Gesteinsmehle ist Schluff mit 43,7% von der Firma Schindele bis 81% der Firma Magnolithe bzw. 80,9% Schluffanteil beim Basaltmehl vom Pauliberg. Die Tonfraktion ist der zweitstärkste Anteil bei fast allen Proben. Die Ausnahme bildet Biolit, wo die Sandfraktion mit 21,8% höher ausfällt als die Tonfraktion mit 14,8%. Bei der Tonfraktion ist es genau umgekehrt, wie bei der Schlufffraktion. Hier ist das Basaltmehl vom Pauliberg mit einem Anteil von 10,3% am geringsten und das Gesteinsmehl der Firma Umweltpionier mit einem Tonanteil von 35,4% am höchsten. Zwei weitere Gesteinsmehle mit hohem Schluffanteil, Rath (80%) und Magnolithe (81%) haben einen für die Kategorie „fein“ mittleren Tongehalt von 19% bei der Firma Magnolithe und 16,6% bei der Firma Rath. Während bei der Firma Magnolithe kein Sandanteil eruiert wurde, kam das Gesteinsmehl der Firma Rath auf einen kleinen Sandanteil von 3,4%.

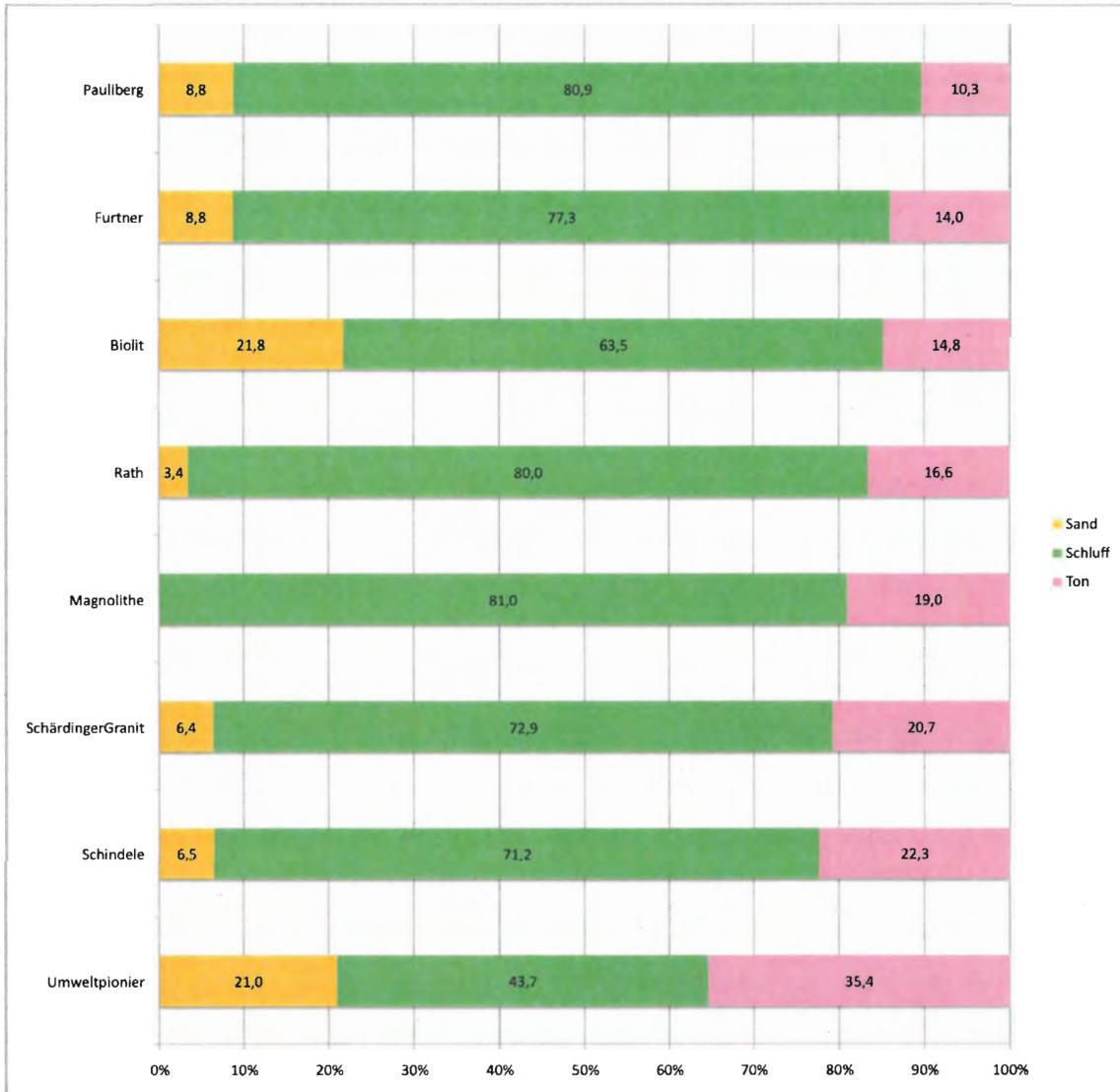


Abbildung 5-27: Korngrößenverteilung silikathältige Gesteinsmehle "fein"

Die Gesteinsmehle der Firma Magnolithe und Schindele sind in Abbildung 5-28 dargestellt. Das Gesteinsmehl der Firma Magnolithe hat seinen Hauptanteil in der Korngröße Mittelschluff (über 50%). Das Gesteinsmehl der Firma Schindele hat einen größeren Grobschluffanteil.

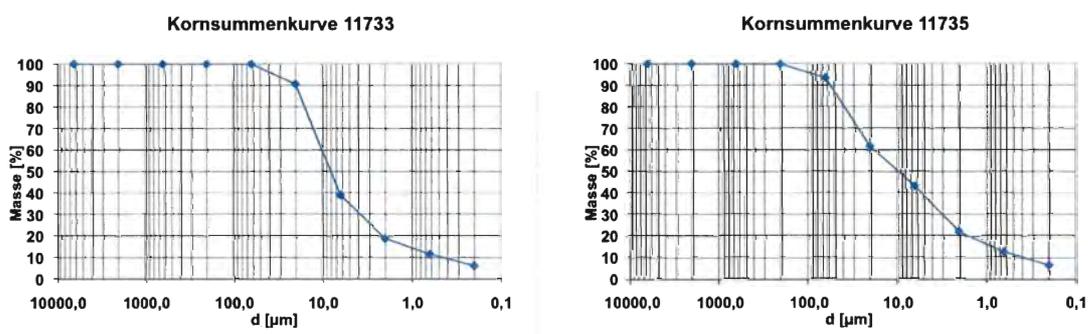


Abbildung 5-28: Kornsummenkurve Magnolithe im Vergleich zu Schindele

5.1.1.3 Korngrößeneinteilung nach Median

Wie in Tabelle 5-7 und Tabelle 5-8 ersichtlich, kann die Korngröße der Gesteinsmehle auch nach ihrem Median eingeteilt werden. Der Median in der Kornsummenkurve beschreibt die Korngröße in der Mitte der Gesteinsmehlprobe. 50% sind größer und 50% sind kleiner dieser Korngröße.

Bei den karbonathaltigen Gesteinsmehlen ergibt sich durch die Einteilung nach Mediengröße das größte Gesteinsmehl mit einem Median von 300 μm beim Kalkmehl der Firma Renz. Das Gesteinsmehl der Firma Green Vital ergibt für die silikathaltigen Gesteinsmehle den höchsten Median von 800 μm , welcher mehr als 2½mal so hoch ist, als der Median des Gesteinsmehl der Firma Renz. Beide Gesteinsmehle wurden wie in Abbildung 5-17 und Abbildung 5-23 ersichtlich auch durch die Fingerprobe in die Kategorie grob eingeteilt. Jedoch weisen beide Gesteinsmehle in ihrer Kategorie „grob“ den höchsten Tonanteil auf und nicht, wie erwartet, den höchsten Kies- bzw. Sandanteil.

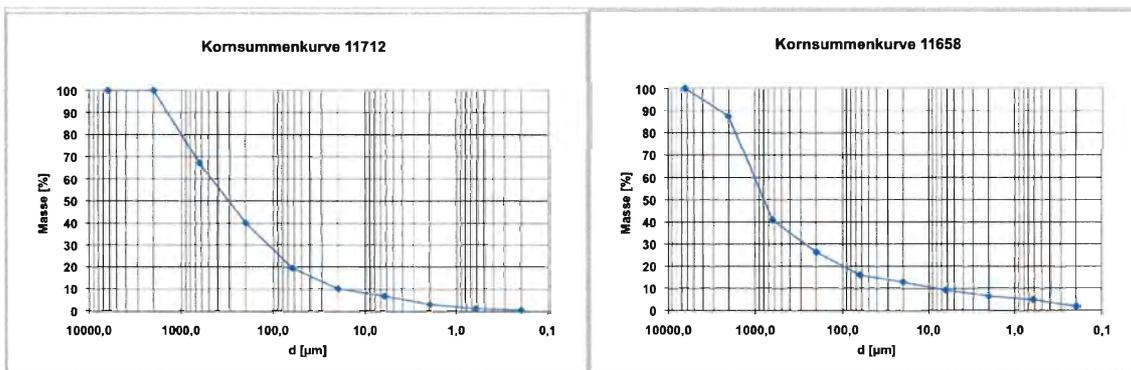


Abbildung 29: Kornsummenkurve Renz im Vergleich zu GreenVital

Die Gesteinsmehle der Firmen Wieterdorfer und Omya weisen den kleinsten Median von 4,5 μm für die karbonathaltigen Gesteinsmehle auf. Die Firma Umweltpionier erreicht bei ihrem Gesteinsmehl den kleinsten Median von 4 μm , für die silikathaltigen Gesteinsmehle sowie für die gesamten Gesteinsmehlproben.

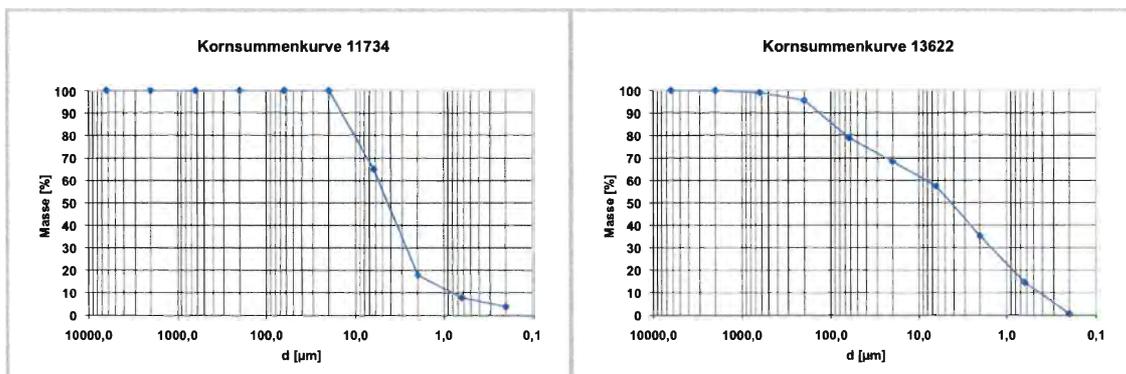


Abbildung 30: Kornsummenkurve Omya im Vergleich zu Umweltpionier

5.1.1.4 Korngrößen der Gesteinsmehle für die Treibhausgasmessungen

Für die Treibhausgasmessungen wurden folgende 5 Gesteinsmehle herangezogen. Die beiden Gesteinsmehle Immergrün und bellaFlora, welche aus dem Handel bezogen wurden, sind eine Spur grobkörniger, wobei das Gesteinsmehl der Marke bellaFlora den größten Kornklassenanteil (fast die Hälfte) in der Grobsandfraktion aufweist. Feinkies ist mit über 12% ebenfalls stark vertreten.

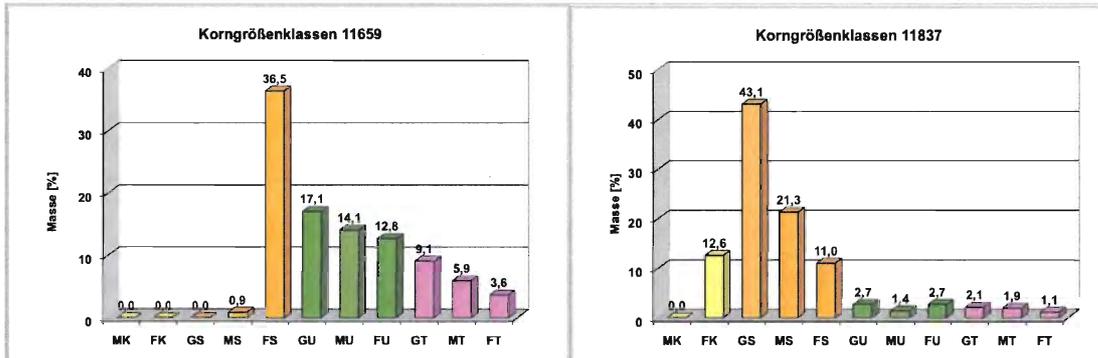


Abbildung 5-31: Korngrößenklassen GreenVital Abbildung 5-32: Korngrößenklassen bellaFlora

Die drei von den Steinbrüchen bezogenen Gesteinsmehle sind eindeutig feiner und haben den größten Kornklassenanteil im Schluff. Das Gesteinsmehl der Firma Aspanger hat über 80% seiner Probe mit Feinsand und Grobschluff abgedeckt.

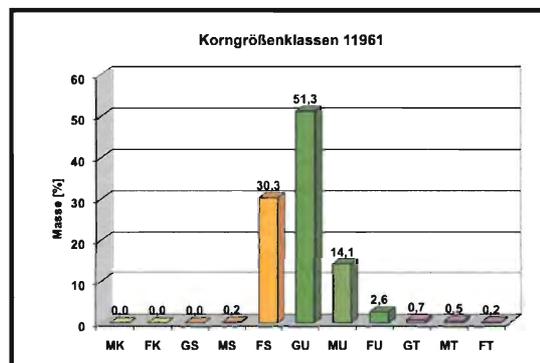


Abbildung 5-33: Korngrößenklasse Aspanger

Das Basaltmehl vom Pauliberg und das Kalkmehl der Firma Plattner weisen 80% ihres Korngrößenanteils rein in der Korngröße Schluff auf. Auch die Korngröße Ton ist beim Basaltmehl und Kalkmehl im Vergleich zu den anderen 3 Gesteinsmehlen am größten.

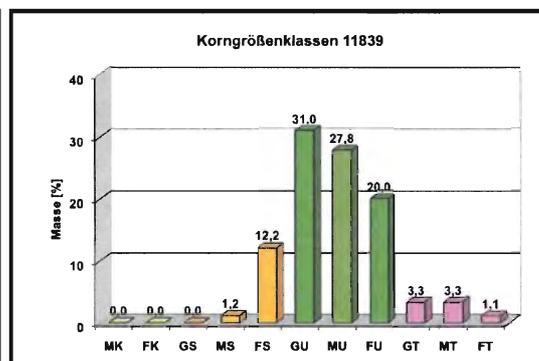
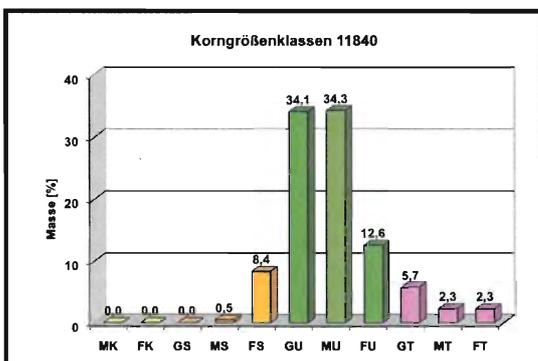


Abbildung 5-34: Korngrößenklassen Pauliberg Abbildung 5-35: Korngrößenklassen PlattnerKalk

5.2 Treibhausgasmessungen

5.2.1 CO₂, NO und NO₂

Der Anstieg der CO₂ Werte korreliert mit dem Anstieg der Temperatur bei beiden Kompostproben. CO₂ entsteht bei der Zersetzung des organischen Materials durch mikrobielle Atmung (BALL et al., 1999). SMITH et al., 2003 beschreibt den Anstieg von CO₂ bei der organische Substanz durch Anstieg der Temperatur, wenn keine limitierenden Faktoren wie z.B. Trockenheit vorliegen (REICHSTEIN et al., 2003). Die mikrobielle Veratmung wird auch beeinflusst durch den Wassergehalt (SCHAUFFLER, 2007). SCHAUFFLER, 2007 ermittelt die höchsten CO₂ Emissionen in den meisten Fällen bei einem Wassergehalt von 40% und 60% WFPS.

Der Wassergehalt beeinflusst die mikrobielle Tätigkeit in beiden Extremen. Wenn es zu feucht ist, gibt es zu wenig Bodenluft und bei Trockenheit kommt es zu Stress der Bodenmikroorganismen (SMITH et al., 2003)

5.2.1.1 Block

Die Aufteilung der Wiederholungen in zwei Teile wurde statistisch ausgewertet, indem ein fünfter Faktor „Block“ (Block1 und Block2) eingeführt wurde. Dadurch wurde ersichtlich, ob die Aufteilung der 4 Wiederholungen in zwei Teile einen Einfluss auf die Messergebnisse hat.

Statistisch konnte die Nullhypothese, der Faktor Block hat keine Auswirkung auf den CO₂ Wert, bestätigt werden. In Abbildung 5-36 sind die Ergebnisse aus „R“ dargestellt. Mit rotem Pfeil sind die Ergebnisse, welche besprochen werden, gekennzeichnet.

```
> lm3a <- lm(CO2 ~ Steinmehl + Temperatur + Feuchtigkeit + Kompost + Block
+ Steinmehl:Kompost + Steinmehl:Temperatur + Steinmehl:Feuchtigkeit, data=dat)
> Anova(lm3a)

Anova Table (Type II tests)

Response: CO2

```

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
Steinmehl	2116077	5	2.6610	0.022452 *
Temperatur	62437547	1	392.5777	< 2.2e-16 ***
Feuchtigkeit	1420479	1	8.9313	0.003015 **
Kompost	26748751	1	168.1834	< 2.2e-16 ***
Block	18392	1	0.1156	0.734034
Steinmehl:Kompost	601197	5	0.7560	0.582162
Steinmehl:Temperatur	1694350	5	2.1307	0.061507 .
Steinmehl:Feuchtigkeit	894518	5	1.1249	0.346893
Residuals	52007743	327		

```
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Abbildung 5-36: statistische Auswertung CO₂ "Block"

Die Darstellung in Boxplots (siehe Abbildung 5-37) zeigt die Übereinstimmung der CO₂ Werte von Block 1 und Block 2.

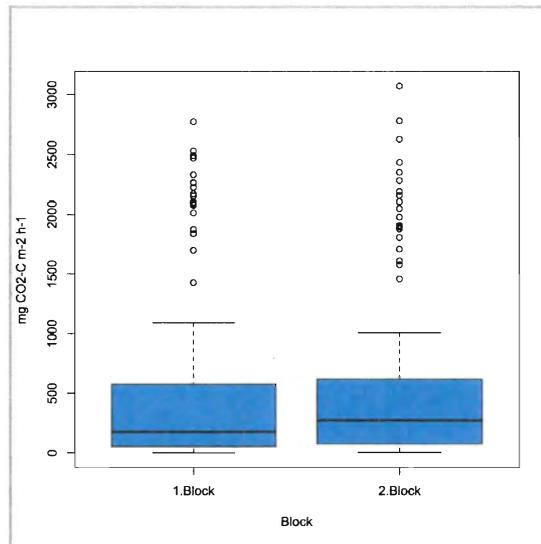


Abbildung 5-37: Unterschied CO₂ „Block“ in boxPlots

Das Streudiagramm in Abbildung 5-38 lässt die Übereinstimmung der CO₂ Werte über den Temperaturverlauf hinweg erkennen. Des weiteren wird durch die Aufteilung der Daten in die beiden Komposte besser ersichtlich, wie gut die Ergebnisse der Blöcke zu dem jeweiligen Kompost passen.

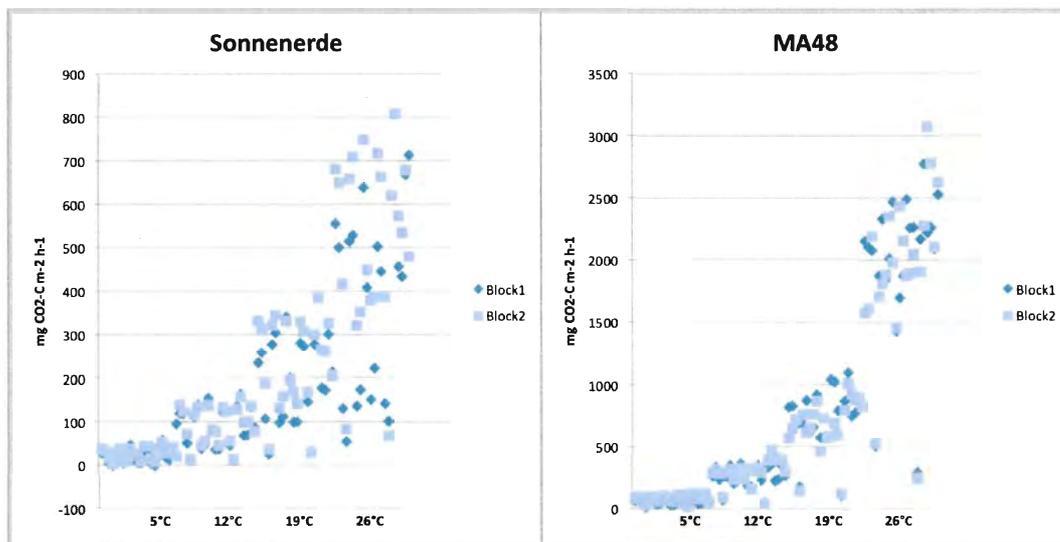


Abbildung 5-38: Streudiagramme Faktor "Block" CO₂ Werte

In Abbildung 5-39 ist ersichtlich, dass bei den NO Werten ein Unterschied von Block 1 zu Block2 mit einer Signifikanz von 0,025 erkennbar ist.

```

> lm3b <- lm(NO ~ Steinmehl + Temperatur + Feuchtigkeit + Kompost + Block
+ Steinmehl:Kompost + Steinmehl:Temperatur + Steinmehl:Feuchtigkeit, data=dat)

> Anova(lm3b)

Anova Table (Type II tests)

Response: NO

```

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
Steinmehl	22052	5	0.1876	0.96720
Temperatur	4250775	1	180.7789	< 2e-16 ***
Feuchtigkeit	715847	1	30.4439	7e-08 ***
Kompost	5131368	1	218.2291	< 2e-16 ***
Block	119753	1	5.0929	0.02468 *
Steinmehl:Kompost	20329	5	0.1729	0.97254
Steinmehl:Temperatur	21975	5	0.1869	0.96745
Steinmehl:Feuchtigkeit	93449	5	0.7948	0.55398
Residuals	7688970	327		

```

---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Abbildung 5-39: statistische Auswertung NO "Block"

Die BoxPlots in Abbildung 5-40 zeigen eine breitere Streuung der Daten in Block 2.

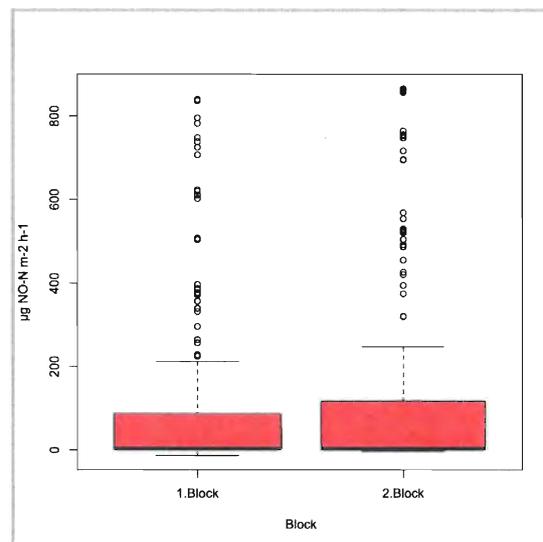


Abbildung 5-40: Unterschied NO "Block" in boxPlots

Im Streudiagramm von Abbildung 5-41 ist ersichtlich, dass für den Kompost der MA48 keine nennenswerten NO Werte vorliegen. Die Abweichung ergibt sich aus den NO Werten des Kompostes der Firma Sonnenerde. Vor allem in der Temperaturstufe von 19°C ist ein höherer Wert bei den NO Werten von Block 2 erkennbar.

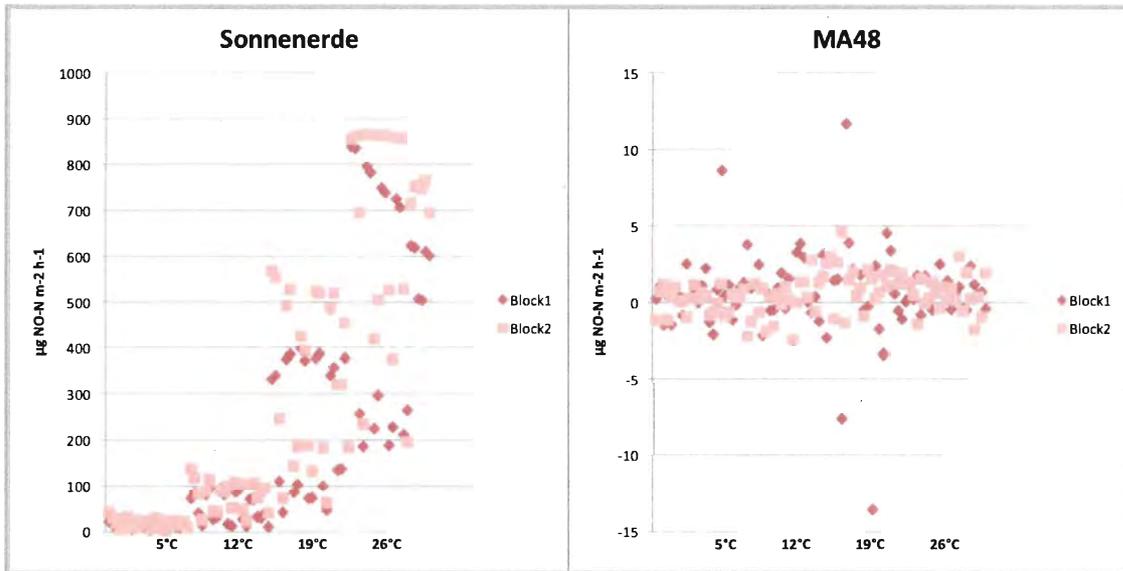


Abbildung 5-41: Streudiagramme Faktor „Block“ NO Werte

Für die NO₂ Werte ist kein signifikanter Unterschied zwischen Block1 und Block2 gegeben, wie in Abbildung 5-42 ersichtlich ist.

```

> lm3c <- lm(NO2 ~ Steinmehl + Temperatur + Feuchtigkeit + Kompost + Block
+ Steinmehl:Kompost + Steinmehl:Temperatur + Steinmehl:Feuchtigkeit, data=dat)

> Anova(lm3c)
Anova Table (Type II tests)

Response: NO2

```

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
Steinmehl	23299	5	1.9108	0.0920583 .
Temperatur	32905	1	13.4935	0.0002796 ***
Feuchtigkeit	11984	1	4.9143	0.0273226 *
Kompost	326510	1	133.8925	< 2.2e-16 ***
Block	3864	1	1.5847	0.2089839
Steinmehl:Kompost	22029	5	1.8067	0.1110096
Steinmehl:Temperatur	24394	5	2.0007	0.0781675 .
Steinmehl:Feuchtigkeit	8155	5	0.6689	0.6473361
Residuals	797421	327		

```

---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Abbildung 5-42: statistische Auswertung NO₂ "Block"

Auch die Boxplot Darstellung in Abbildung 5-43 zeigt eine gleichmäßige Verteilung der NO₂ Werte.

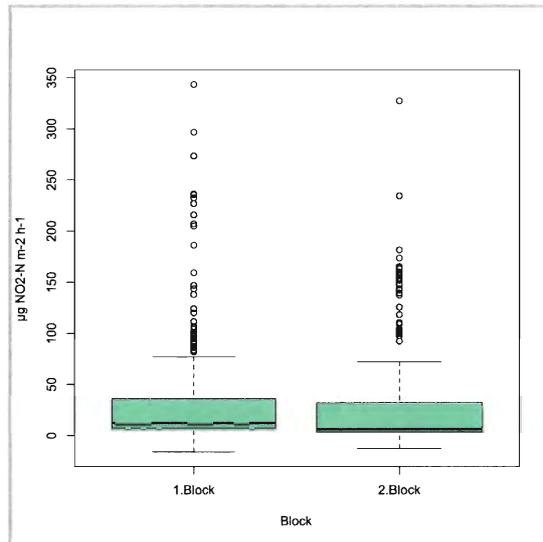


Abbildung 5-43: Unterschied NO₂ „Block“ in boxPlots

Die Streudiagramme in Abbildung 5-44 zeigen, dass die NO₂ Werte vor allem im Kompost der Firma Sonnenerde dominierend sind.

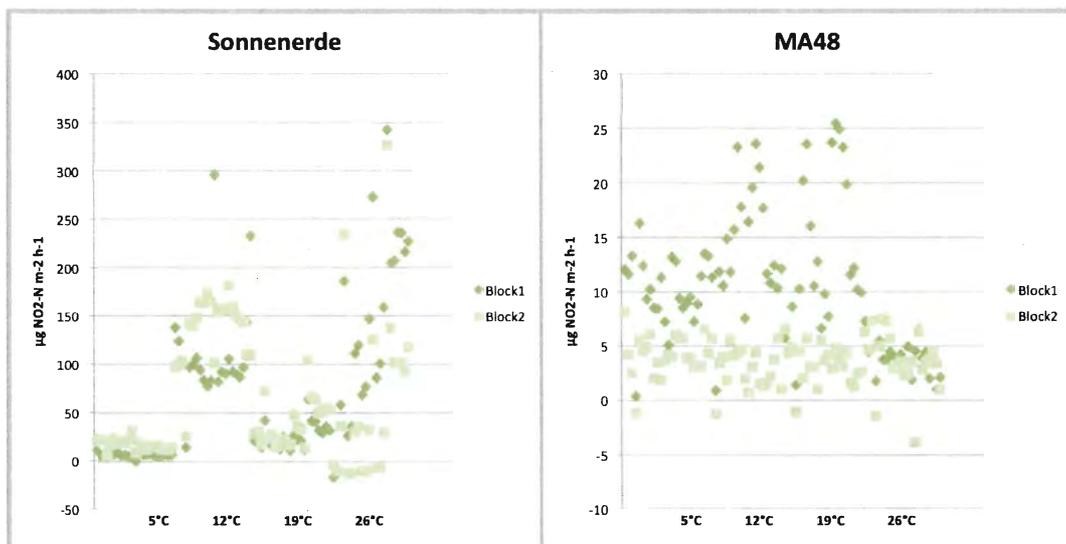


Abbildung 5-44: Streudiagramme Faktor "Block" NO₂ Werte

5.2.1.2 Kompost Sonnenerde im Vergleich zu Kompost MA48

Der Kompost von Sonnenerde unterscheidet sich bei allen drei Werten (CO₂, NO und NO₂) signifikant vom Kompost der MA48, wie in Abbildung 5-45, Abbildung 5-47 und Abbildung 5-49 ersichtlich ist.

```

> lm3a <- lm(CO2 ~ Steinmehl + Temperatur + Feuchtigkeit + Kompost + Block
+ Steinmehl:Kompost + Steinmehl:Temperatur + Steinmehl:Feuchtigkeit, data=dat)
> Anova(lm3a)

Anova Table (Type II tests)

Response: CO2

```

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
Steinmehl	2116077	5	2.6610	0.022452 *
Temperatur	62437547	1	392.5777	< 2.2e-16 ***
Feuchtigkeit	1420479	1	8.9313	0.003015 **
Kompost	26748751	1	168.1834	< 2.2e-16 ***
Block	18392	1	0.1156	0.734034
Steinmehl:Kompost	601197	5	0.7560	0.582162
Steinmehl:Temperatur	1694350	5	2.1307	0.061507 .
Steinmehl:Feuchtigkeit	894518	5	1.1249	0.346893
Residuals	52007743	327		

```

Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Abbildung 5-45: statistische Auswertung CO2 "Kompost"

Aus Abbildung 5-46 ist ersichtlich, dass der Kompost der MA48 höhere Werte in der CO₂ Entwicklung vorweist als der Kompost der Firma Sonnenerde. Der höchste CO₂ Wert beim Kompost der Firma Sonnenerde erreicht einen Wert von 808mg CO₂-C m⁻² h⁻¹, wogegen der höchste CO₂ Wert der MA48 den fast vierfachen Wert von über 3000mg CO₂-C m⁻² h⁻¹ erreicht.

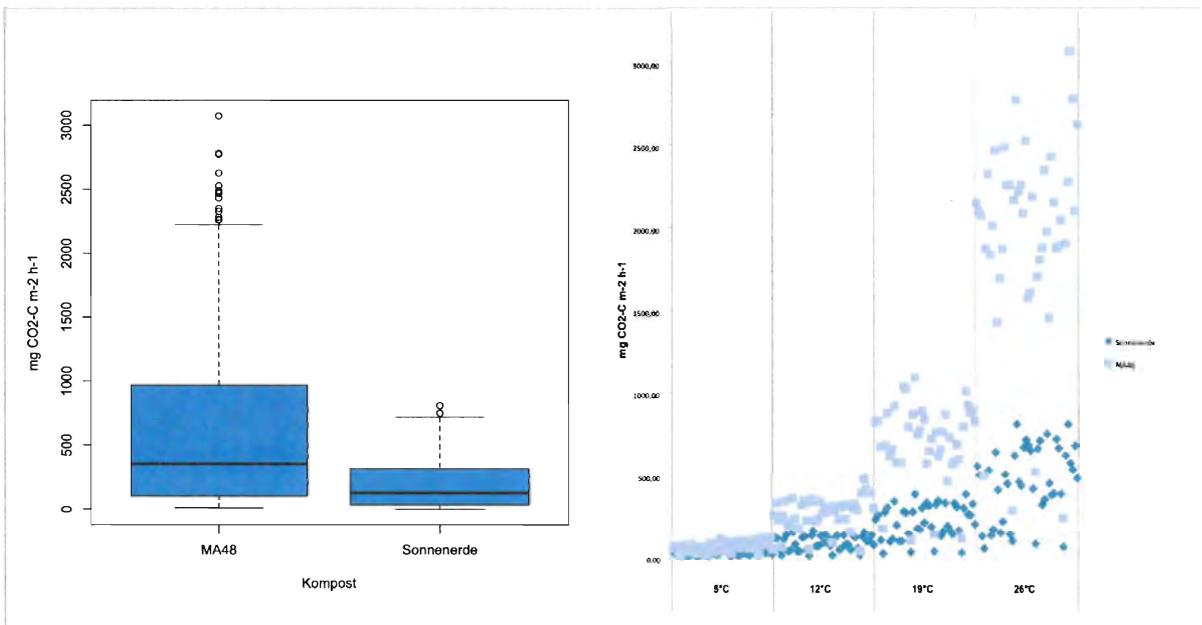


Abbildung 5-46: Unterschied "Kompost" CO2 Werte

```

> lm3b <- lm(NO ~ Steinmehl + Temperatur + Feuchtigkeit + Kompost + Block
+ Steinmehl:Kompost + Steinmehl:Temperatur + Steinmehl:Feuchtigkeit, data=dat)

> Anova(lm3b)

Anova Table (Type II tests)

Response: NO
      Sum Sq Df F value Pr(>F)
Steinmehl      22052   5  0.1876 0.96720
Temperatur    4250775   1 180.7789 < 2e-16 ***
Feuchtigkeit   715847   1  30.4439 7e-08 ***
Kompost       5131368   1 218.2291 < 2e-16 ***
Block         119753   1   5.0929 0.02468 *
Steinmehl:Kompost  20329   5  0.1729 0.97254
Steinmehl:Temperatur  21975   5  0.1869 0.96745
Steinmehl:Feuchtigkeit 93449   5  0.7948 0.55398
Residuals     7688970 327
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
    
```

Abbildung 5-47: statistische Auswertung NO "Kompost"

Genau umgekehrt ist es mit den Werten für NO und NO₂. Hier sieht man beim Kompost der Firma Sonnenerde einen klaren Anstieg mit der Temperatur, wogegen der Kompost der MA48 keine stickstoffhaltigen Gase zu entwickeln scheint.

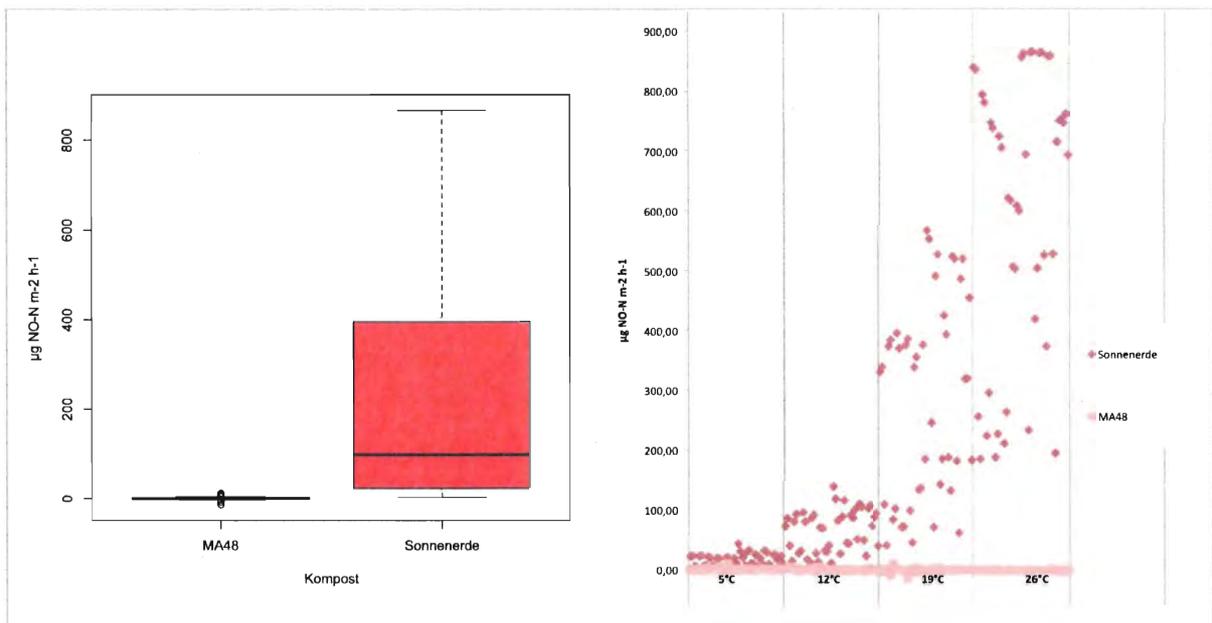


Abbildung 5-48: Unterschied Kompost NO Werte

```

> lm3c <- lm(NO2 ~ Steinmehl + Temperatur + Feuchtigkeit + Kompost + Block
+ Steinmehl:Kompost + Steinmehl:Temperatur + Steinmehl:Feuchtigkeit, data=dat)

> Anova(lm3c)
Anova Table (Type II tests)

Response: NO2

```

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
Steinmehl	23299	5	1.9108	0.0920583 .
Temperatur	32905	1	13.4935	0.0002796 ***
Feuchtigkeit	11984	1	4.9143	0.0273226 *
Kompost	326510	1	133.8925	< 2.2e-16 ***
Block	3864	1	1.5847	0.2089839
Steinmehl:Kompost	22029	5	1.8067	0.1110096
Steinmehl:Temperatur	24394	5	2.0007	0.0781675 .
Steinmehl:Feuchtigkeit	8155	5	0.6689	0.6473361
Residuals	797421	327		

```

---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Abbildung 5-49: statistische Auswertung NO2 "Kompost"

Wie in Abbildung 5-50 gezeigt wird, sind vor allem im Kompost der Firma Sonnenerde NO₂ Werte erkennbar. Der Kompost der MA48 scheint keine nennenswerten NO₂ Gase zu entwickeln, wie auch schon bei den NO Werten beschrieben wurde.

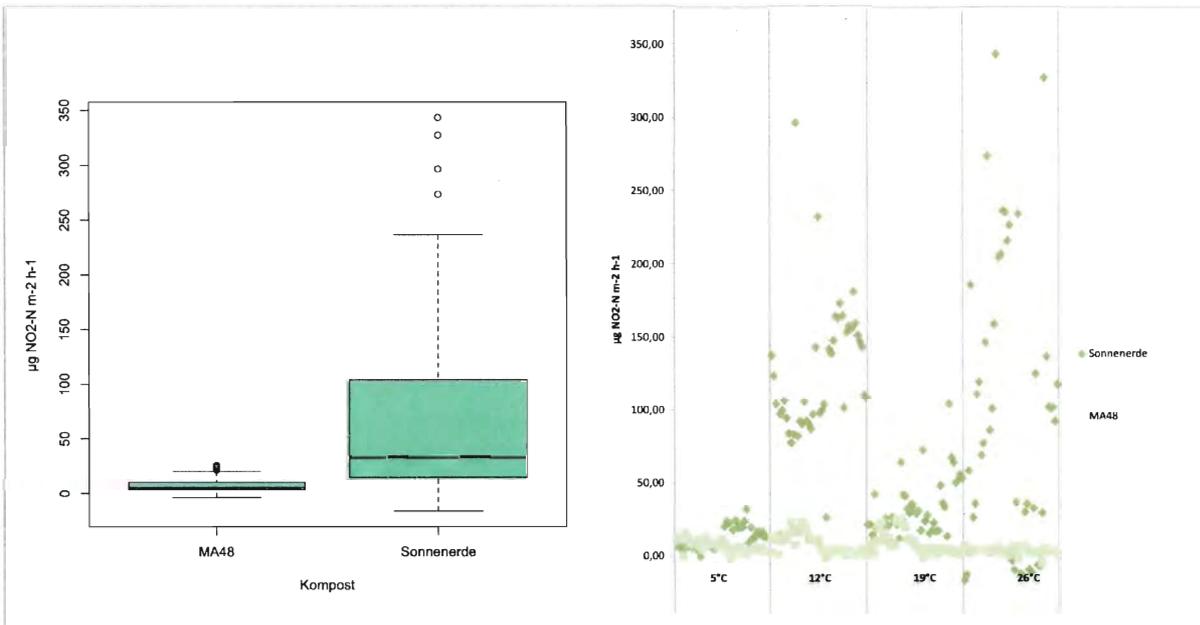


Abbildung 5-50: Unterschied Kompost NO2 Werte

5.2.1.1 Feuchtigkeit

Die Proben wurden auf 40% und 70% wassergefüllter Porenraum (WFPS) präpariert. Der Einfluss des wassergefüllten Porenraum war am größten bei den NO Werten, gefolgt von den CO₂ Werten und zeigte die geringste Signifikanz bei den NO₂ Werten (siehe Abbildung 5-53, Abbildung 5-51 und Abbildung 5-55).

```

> lm3a <- lm(CO2 ~ Steinmehl + Temperatur + Feuchtigkeit + Kompost + Block
+ Steinmehl:Kompost + Steinmehl:Temperatur + Steinmehl:Feuchtigkeit, data=dat)

> Anova(lm3a)

Anova Table (Type II tests)

Response: CO2

```

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
Steinmehl	2116077	5	2.6610	0.022452 *
Temperatur	62437547	1	392.5777	< 2.2e-16 ***
Feuchtigkeit	1420479	1	8.9313	0.003015 **
Kompost	26748751	1	168.1834	< 2.2e-16 ***
Block	18392	1	0.1156	0.734034
Steinmehl:Kompost	601197	5	0.7560	0.582162
Steinmehl:Temperatur	1694350	5	2.1307	0.061507 .
Steinmehl:Feuchtigkeit	894518	5	1.1249	0.346893
Residuals	52007743	327		

```

Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Abbildung 5-51: statistische Auswertung CO2 "WFPS"

Der Kompost der Firma Sonnenerde lässt die Unterschiede in der Entwicklung der Treibhausgase CO₂ und NO bei unterschiedlichem Wassergehalt besser erkennen, wie in Abbildung 5-52 und Abbildung 5-54 gut ersichtlich ist.

Im Kompost der MA48 ist die, durch den unterschiedlichen Wassergehalt entstandene Differenz der CO₂ Werte geringer.

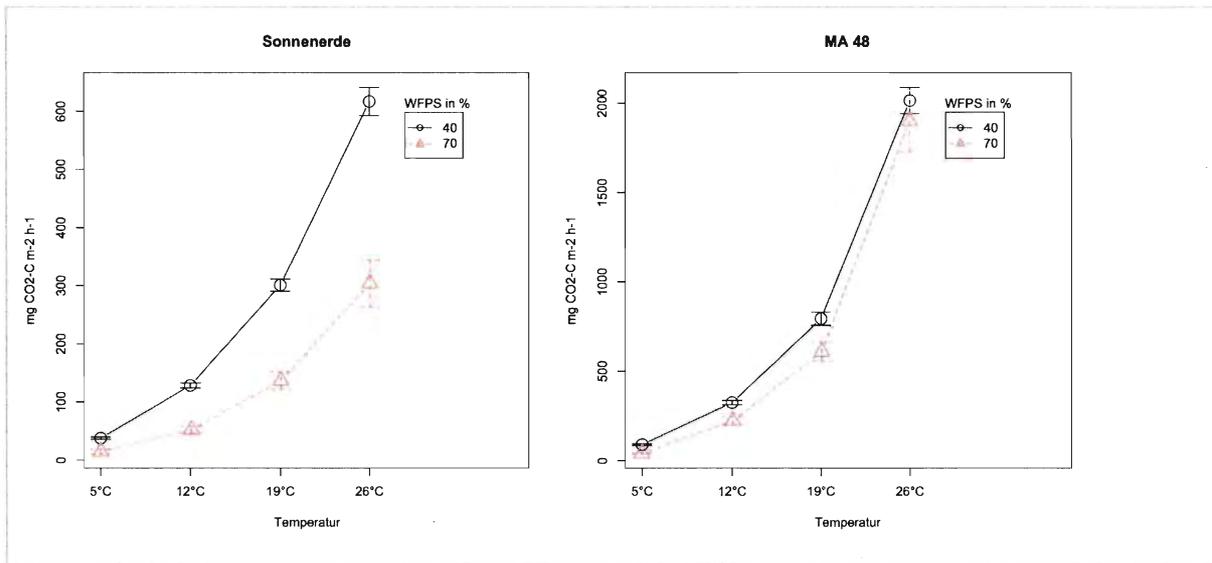


Abbildung 5-52: WFPS CO2 Werte

```

> lm3b <- lm(NO ~ Steinmehl + Temperatur + Feuchtigkeit + Kompost + Block
+ Steinmehl:Kompost + Steinmehl:Temperatur + Steinmehl:Feuchtigkeit, data=dat)

> Anova(lm3b)

Anova Table (Type II tests)

Response: NO

      Sum Sq Df F value Pr(>F)
Steinmehl      22052  5  0.1876 0.96720
Temperatur  4250775  1 180.7789 < 2e-16 ***
Feuchtigkeit  715847  1  30.4439  7e-08 ***
Kompost      5131368  1 218.2291 < 2e-16 ***
Block        119753  1  5.0929 0.02468 *
Steinmehl:Kompost  20329  5  0.1729 0.97254
Steinmehl:Temperatur  21975  5  0.1869 0.96745
Steinmehl:Feuchtigkeit  93449  5  0.7948 0.55398
Residuals      7688970 327

---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
    
```

Abbildung 5-53: statistische Auswertung NO "WFPS"

Im Kompost der Firma Sonnenerde ist der Unterschied bei den NO Werten, welcher durch die unterschiedlichen WFPS entsteht, gleichbedeutend wie der durch die Temperatur bedingte Unterschied. So erreicht der Mittelwert bei der Variante mit 40% WFPS bereits bei 19°C einen Wert von 396 $\mu\text{g NO-N m}^{-2}\text{h}^{-1}$, wogegen die Variante mit 70% WFPS erst bei 26°C einen Wert von 397 $\mu\text{g NO-N m}^{-2}\text{h}^{-1}$ erreicht (Abbildung 5-54).

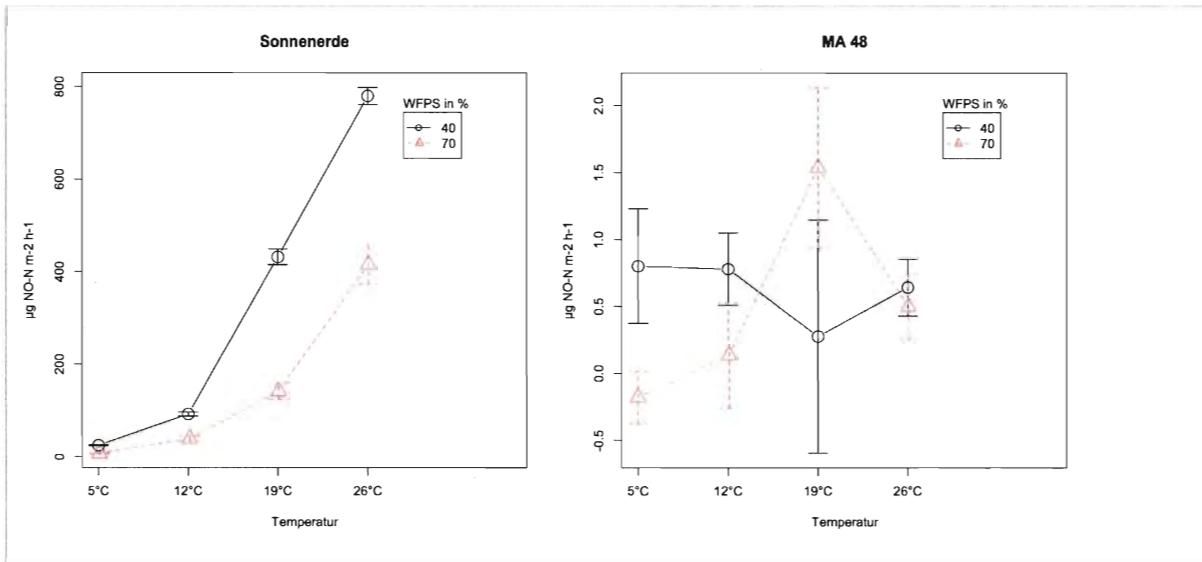


Abbildung 5-54: WFPS NO Werte

```

> lm3c <- lm(NO2 ~ Steinmehl + Temperatur + Feuchtigkeit + Kompost + Block
+ Steinmehl:Kompost + Steinmehl:Temperatur + Steinmehl:Feuchtigkeit, data=dat)

> Anova(lm3c)
Anova Table (Type II tests)

Response: NO2

      Sum Sq Df F value    Pr(>F)
Steinmehl      23299   5  1.9108 0.0920583 .
Temperatur     32905   1 13.4935 0.0002796 ***
Feuchtigkeit   11984   1  4.9143 0.0273226 *
Kompost       326510   1 133.8925 < 2.2e-16 ***
Block           3864   1  1.5847 0.2089839
Steinmehl:Kompost 22029   5  1.8067 0.1110096
Steinmehl:Temperatur 24394   5  2.0007 0.0781675 .
Steinmehl:Feuchtigkeit 8155   5  0.6689 0.6473361
Residuals     797421 327

---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
    
```

Abbildung 5-55: statistische Auswertung NO2 "WFPS"

Für die NO₂ Werte des Kompostes der Firma Sonnenerde ist der Unterschied nur in der Temperaturstufe 26°C ersichtlich. Ein weiterer Unterschied ist, dass bisher bei den CO₂ Werten und NO Werten immer die Variante mit 40% WFPS die höheren Werte erzielt, jedoch für die NO₂ Werte der Kompost der Firma Sonnenerde bei 26°C die Variante mit 70% WFPS die höheren Werte hat.

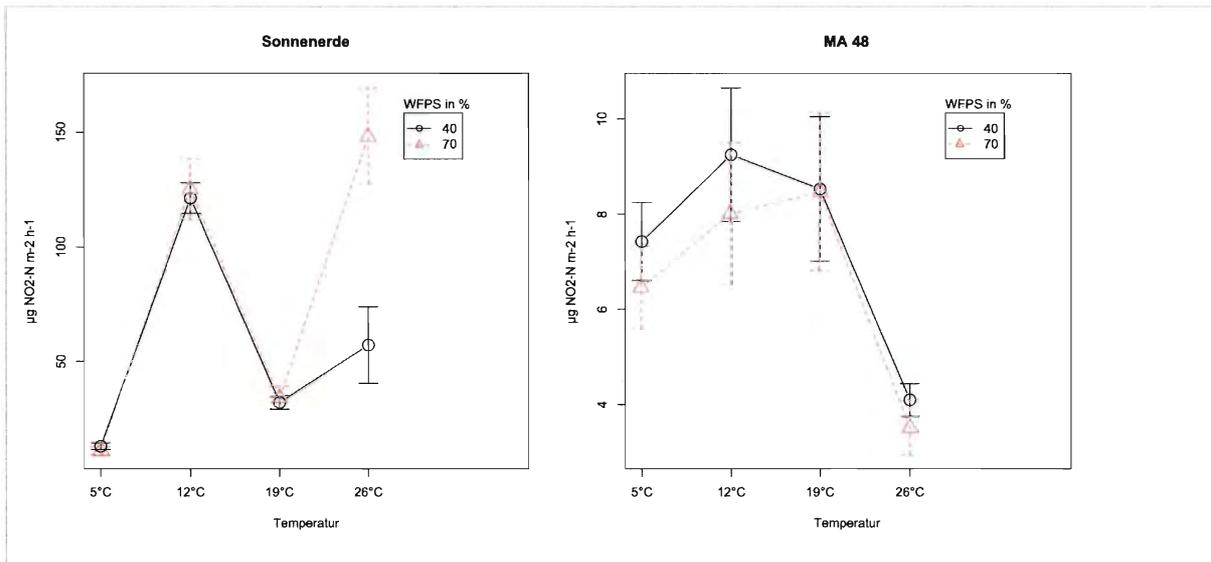


Abbildung 5-56: WFPS NO2 Werte

5.2.1.2 Temperaturanstieg

Für den Faktor Temperatur wurden die Proben auf vier Temperaturstufen aufsteigend erwärmt (5°C, 12°C, 19°C und 26°C).

In beiden Komposten ist ein klarer Anstieg der CO₂ Werte mit dem Anstieg der Temperatur zu erkennen. Die Nullhypothese: „Der Faktor Temperatur hat keinen Einfluss auf die Treibhausgasentwicklung“, muss verworfen werden (siehe Abbildung 5-57). In

Abbildung 5-58 und Abbildung 5-59 ist die Abhängigkeit der CO₂ Werte von der Temperatur für beide Komposte grafisch dargestellt.

```
> lm3a <- lm(CO2 ~ Steinmehl + Temperatur + Feuchtigkeit + Kompost + Block
+ Steinmehl:Kompost + Steinmehl:Temperatur + Steinmehl:Feuchtigkeit, data=dat)
> Anova(lm3a)
Anova Table (Type II tests)
Response: CO2
      Sum Sq Df F value    Pr(>F)
Steinmehl      2116077    5  2.6610  0.022452 *
Temperatur    62437547    1 392.5777 < 2.2e-16 ***
Feuchtigkeit   1420479    1  8.9313  0.003015 **
Kompost       26748751    1 168.1834 < 2.2e-16 ***
Block           18392    1  0.1156  0.734034
Steinmehl:Kompost  601197    5  0.7560  0.582162
Steinmehl:Temperatur 1694350    5  2.1307  0.061507 .
Steinmehl:Feuchtigkeit 894518    5  1.1249  0.346893
Residuals      52007743 327
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Abbildung 5-57: statistische Auswertung CO₂ "Temperatur"

Beim Anstieg der CO₂ Werte, einhergehend mit dem Anstieg der Temperatur, ist weiters ein sprunghafter Anstieg der CO₂ Werte von 19°C auf 26°C erkennbar.

So bewegen sich die Mittelwerte der CO₂ Werte für den 40% WFPS Kompost der Firma MA48 bei 19°C noch auf 824 mg CO₂-C m⁻²h⁻¹, steigen sie bei 26°C auf 2034 mg CO₂-C m⁻²h⁻¹ um das mehr als doppelte an. Noch stärker ist dieser Anstieg für die CO₂ Werte des MA48 Kompostes bei 70% WFPS. Hier steigen die Werte bei 19°C von 665 mg CO₂-C m⁻²h⁻¹ um das mehr als dreifache auf 2116 mg CO₂-C m⁻²h⁻¹ bei 26°C an.

Ist bei einer Temperatur von 26°C beim Kompost der MA48 die Variante mit 70% WFPS jene mit den etwas höheren Werten, so dreht sich dies beim Kompost der Firma Sonnenerde um. Hier hat die Variante mit 70% WFPS bei 26°C 337 mg CO₂-C m⁻²h⁻¹ und die Variante mit 40% WFPS den fast doppelten Mittelwert mit 643 mg CO₂-C m⁻²h⁻¹.

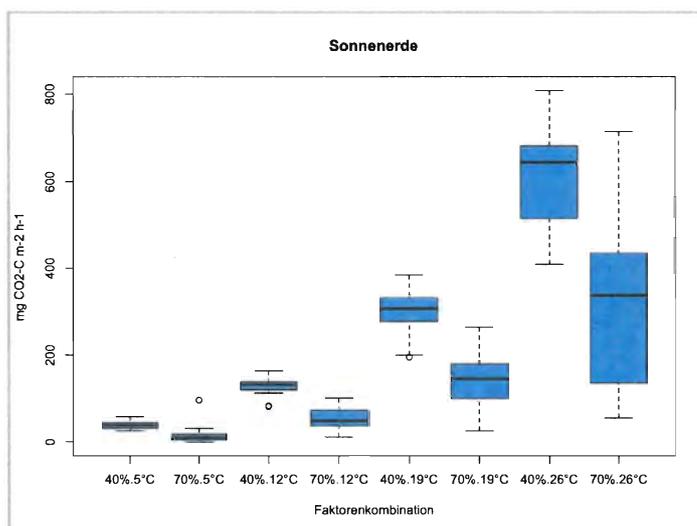


Abbildung 5-58: BoxPlots Sonnenerde Temperaturanstieg CO₂ Werte

In beiden Komposten nimmt die Streuung der CO₂ Werte mit dem Anstieg der Temperatur zu. Bewegen sich die CO₂ Werte bei 19°C und 40% WFPS noch in einer Spannweite von 629 mg C m⁻² h⁻¹ beim Kompost der MA48 und von 399 mg C m⁻² h⁻¹ beim Kompost der Firma Sonnenerde, so steigen die Werte für die Spannweite bis 2830 mg C m⁻² h⁻¹ für den Kompost der MA48 bei 26°C und 70% WFPS an.

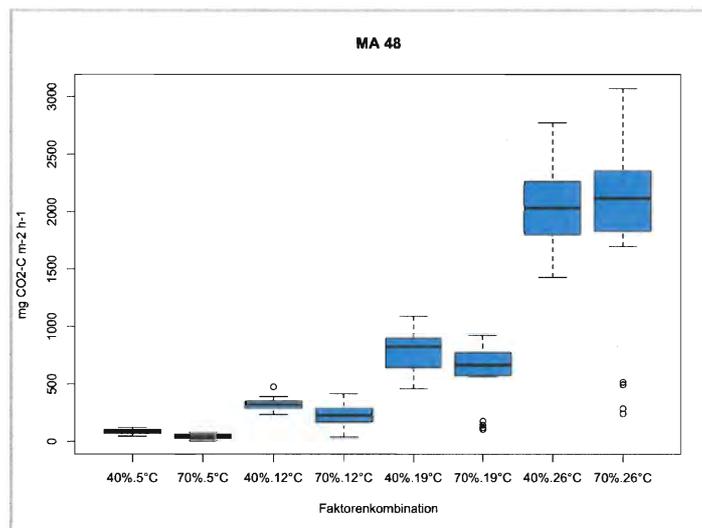


Abbildung 5-59: BoxPlots MA48 Temperaturanstieg CO₂ Werte

Wie in Abbildung 5-60 ersichtlich, hat der Faktor „Temperatur“ einen signifikanten Einfluss auf die NO Werte.

```

> lm3b <- lm(NO ~ Steinmehl + Temperatur + Feuchtigkeit + Kompost + Block
+ Steinmehl:Kompost + Steinmehl:Temperatur + Steinmehl:Feuchtigkeit, data=dat)

> Anova(lm3b)

Anova Table (Type II tests)

Response: NO

```

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
Steinmehl	22052	5	0.1876	0.96720
Temperatur	4250775	1	180.7789	< 2e-16 ***
Feuchtigkeit	715847	1	30.4439	7e-08 ***
Kompost	5131368	1	218.2291	< 2e-16 ***
Block	119753	1	5.0929	0.02468 *
Steinmehl:Kompost	20329	5	0.1729	0.97254
Steinmehl:Temperatur	21975	5	0.1869	0.96745
Steinmehl:Feuchtigkeit	93449	5	0.7948	0.55398
Residuals	7688970	327		

```

---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Abbildung 5-60: statistische Auswertung NO "Temperatur"

Der Kompost der Firma Sonnenerde lässt in Abbildung 5-61 den Einfluss der Temperatur auf die NO Werte gut erkennen. Wie bei den CO₂ Werten ist ein Anstieg der NO Werte mit dem Anstieg der Temperatur erkennbar. Auch hier zeigt die Variante mit 40% WFPS die höheren Werte. So ergibt sich bei 12°C und 40% WFPS ein Mittelwert von 92 µg NO-N m⁻²h⁻¹, dieser steigt bei 19°C auf das mehr als vierfache von 396 µg NO-N m⁻²h⁻¹ an und verdoppelt sich noch einmal auf 789 µg NO-N m⁻²h⁻¹ bei 26°C.

Auffällig ist auch die breite Streuung der NO Werte bei 70% WFPS und 26°C. So beträgt diese Streuung mit 569 µg NO-N m⁻²h⁻¹ das mehr als Doppelte als bei 40% WFPS und 26°C mit 255 µg NO-N m⁻²h⁻¹.

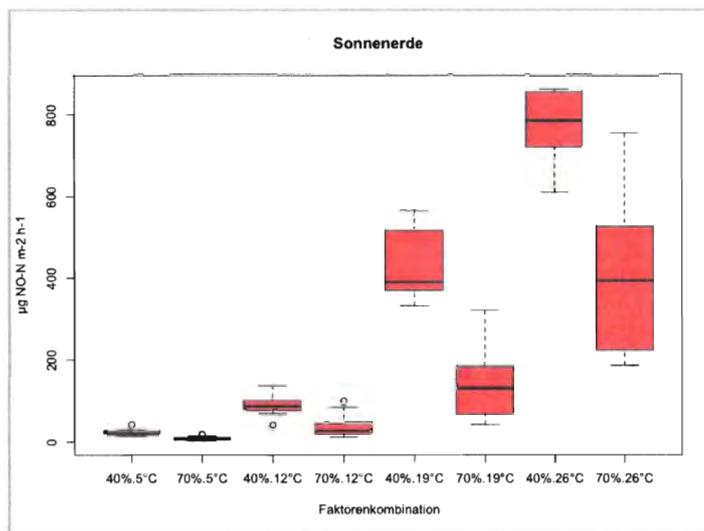


Abbildung 5-61: BoxPlots Sonnenerde Temperaturanstieg NO Werte

Für die NO Werte beim Kompost der MA48 konnte keine Entwicklung festgestellt werden (siehe Abbildung 5-62).

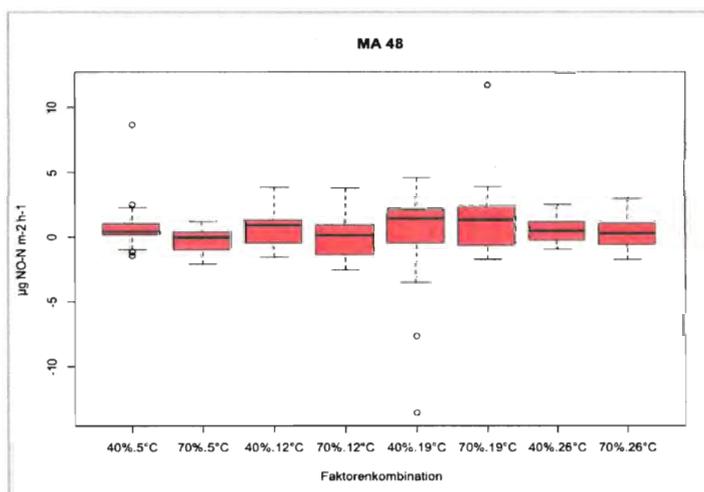


Abbildung 5-62: Boxplots MA48 Temperaturanstieg NO Werte

Auch auf die NO₂ Werte hat der Faktor „Temperatur“ einen signifikanten Einfluss, wie in Abbildung 5-63 gezeigt wird.

```
> lm3c <- lm(NO2 ~ Steinmehl + Temperatur + Feuchtigkeit + Kompost + Block
+ Steinmehl:Kompost + Steinmehl:Temperatur + Steinmehl:Feuchtigkeit, data=dat)

> Anova(lm3c)
Anova Table (Type II tests)

Response: NO2

```

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
Steinmehl	23299	5	1.9108	0.0920583 .
Temperatur	32905	1	13.4935	0.0002796 ***
Feuchtigkeit	11984	1	4.9143	0.0273226 *
Kompost	326510	1	133.8925	< 2.2e-16 ***
Block	3864	1	1.5847	0.2089839
Steinmehl:Kompost	22029	5	1.8067	0.1110096
Steinmehl:Temperatur	24394	5	2.0007	0.0781675 .
Steinmehl:Feuchtigkeit	8155	5	0.6689	0.6473361
Residuals	797421	327		

```
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Abbildung 5-63: statistische Auswertung NO₂ "Temperatur"

Bei den NO₂ Werten ist keine Korrelation zwischen Temperaturanstieg und dem Anstieg der NO₂ Werte gegeben, wie in Abbildung 5-64 ersichtlich. Die Mittelwerte bei 70% WFPS springen von 106 µg NO₂-N m⁻²h⁻¹ bei 12°C auf 28 µg NO₂-N m⁻²h⁻¹ bei 19°C runter und steigen auf 123 µg NO₂-N m⁻²h⁻¹ bei 26°C wieder an.

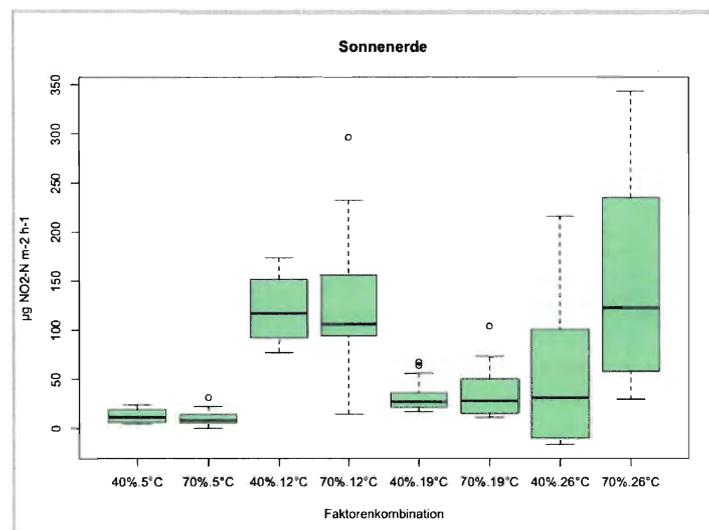


Abbildung 5-64: BoxPlots Sonnenerde Temperaturanstieg NO₂ Werte

Die Mittelwerte des Kompostes der MA48 haben einen geringen Wert zwischen 5 und 10 µg NO₂-N m⁻²h⁻¹ (siehe Abbildung 5-65) und lassen keine Rückschlüsse zu.

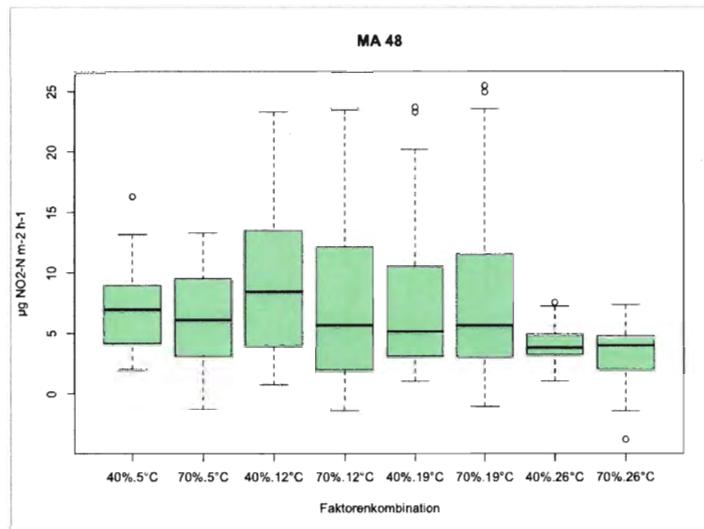


Abbildung 5-65: BoxPlots MA48 Temperaturanstieg NO2 Werte

5.2.1.3 Steinmehl

Der Faktor „Steinmehl“ hat einen signifikanten Einfluss bei der Entwicklung von CO₂, wie in Abbildung 5-66 gezeigt wird.

```
> lm3a <- lm(CO2 ~ Steinmehl + Temperatur + Feuchtigkeit + Kompost + Block
+ Steinmehl:Kompost + Steinmehl:Temperatur + Steinmehl:Feuchtigkeit, data=dat)
> Anova(lm3a)
Anova Table (Type II tests)
Response: CO2
      Sum Sq Df F value    Pr(>F)
Steinmehl      2116077  5  2.6610  0.022452 *
Temperatur     62437547  1 392.5777 < 2.2e-16 ***
Feuchtigkeit   1420479  1  8.9313  0.003015 **
Kompost        26748751  1 168.1834 < 2.2e-16 ***
Block           18392  1  0.1156  0.734034
Steinmehl:Kompost  601197  5  0.7560  0.582162
Steinmehl:Temperatur 1694350  5  2.1307  0.061507 .
Steinmehl:Feuchtigkeit 894518  5  1.1249  0.346893
Residuals      52007743 327

Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Abbildung 5-66: statistische Auswertung CO2 "Steinmehl"

In Abbildung 5-67 und Abbildung 5-68 sind die CO₂ Mittelwerte der verschiedenen Gesteinsmehle und der Variante ohne Steinmehl für jede Temperaturstufe dargestellt. Der Unterschied zeichnet sich bereits bei 5°C leicht ab und tritt mit höheren Temperaturen immer stärker hervor. Die Varianten ohne Steinmehl und mit dem Steinmehl der Marke bellaFlora entwickeln die höchsten CO₂ Werte und heben sich von den anderen vier Gesteinsmehlvarianten klar ab.

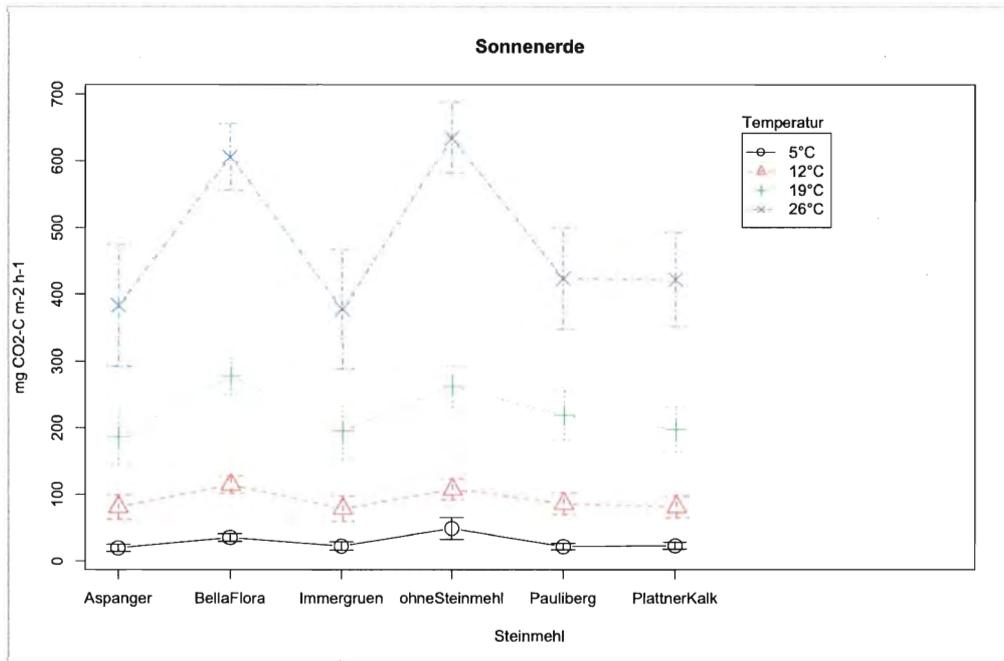


Abbildung 5-67: Steinmehl Sonnenerde CO2 Werte

Der Kompost der MA48 zeigt dieselbe Rangordnung mit den höchsten CO₂ Werten bei der Variante ohne Steinmehl und der Variante mit dem Gesteinsmehl der Marke bellaFlora. Bei 26°C ist noch mal ein Unterschied zwischen den Gesteinsmehlen Aspanger und Immergrün zu Pauliberg und PlattnerKalk erkennbar. Dieser Unterschied zeichnet sich bereits beim Kompost der Firma Sonnenerde ab, tritt beim Kompost der MA48 stärker hervor.

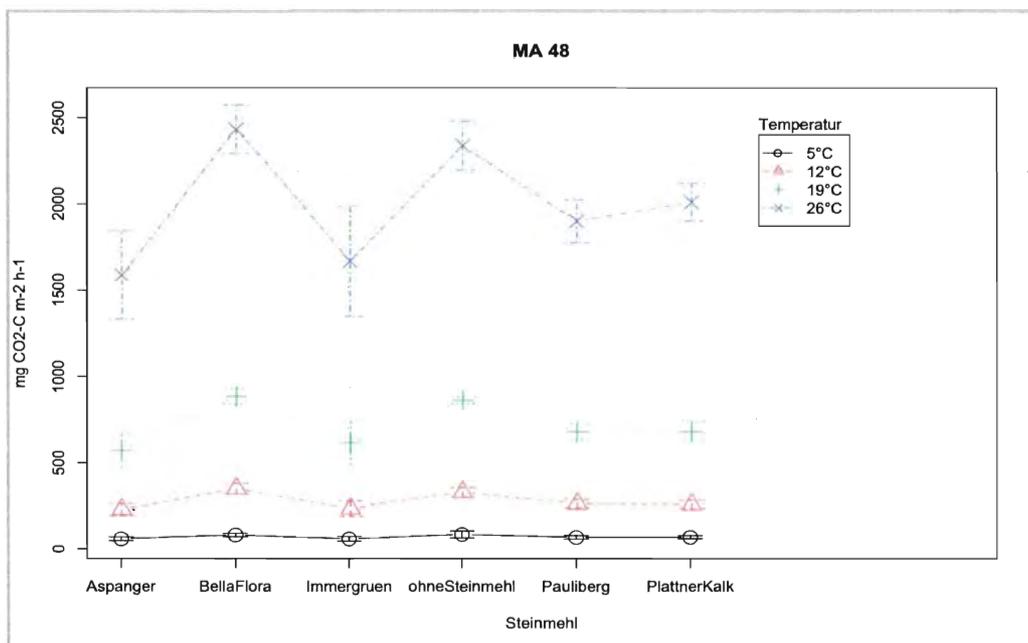


Abbildung 5-68: Steinmehl MA48 CO2 Werte

Bei den NO Werten hat der Faktor „Steinmehl“ keinen signifikanten Einfluss, wie in Abbildung 5-70 ersichtlich.

```
> lm3b <- lm(NO ~ Steinmehl + Temperatur + Feuchtigkeit + Kompost + Block
+ Steinmehl:Kompost + Steinmehl:Temperatur + Steinmehl:Feuchtigkeit, data=dat)

> Anova(lm3b)

Anova Table (Type II tests)

Response: NO

      Sum Sq Df F value Pr(>F)
Steinmehl      22052   5  0.1876 0.96720
Temperatur  4250775   1 180.7789 < 2e-16 ***
Feuchtigkeit  715847   1  30.4439 7e-08 ***
Kompost      5131368   1 218.2291 < 2e-16 ***
Block      119753   1  5.0929 0.02468 *
Steinmehl:Kompost  20329   5  0.1729 0.97254
Steinmehl:Temperatur  21975   5  0.1869 0.96745
Steinmehl:Feuchtigkeit  93449   5  0.7948 0.55398
Residuals    7688970 327

---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Abbildung 5-69: statistische Auswertung NO "Steinmehl"

Im Kompost der Firma Sonnenerde ist bei den NO Werten derselbe Trend wie bei den CO₂ Werten zu erkennen (siehe Abbildung 5-70). Die höchsten Werte sind wieder bei den Varianten ohne Steinmehl und mit dem Steinmehl der Marke bellaFlora zu finden.

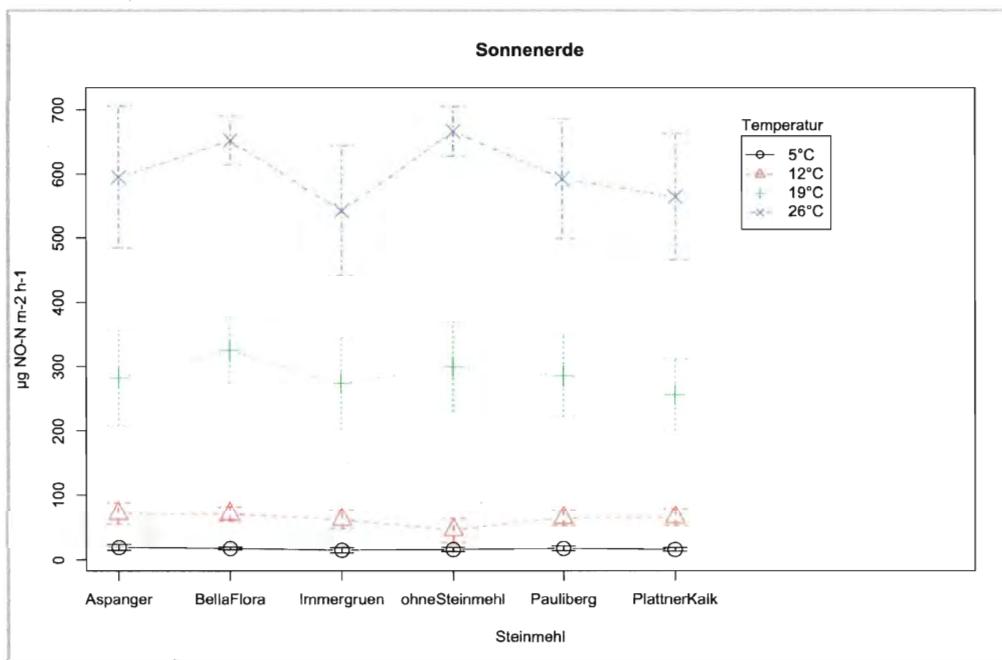


Abbildung 5-70: Steinmehl Sonnenerde NO Werte

Abbildung 5-71 zeigt keine Unterschiede bei den einzelnen Steinmehlvarianten, da im Kompost der MA48 über den Temperaturverlauf hinweg keine nennenswerten NO Gase gemessen wurden.

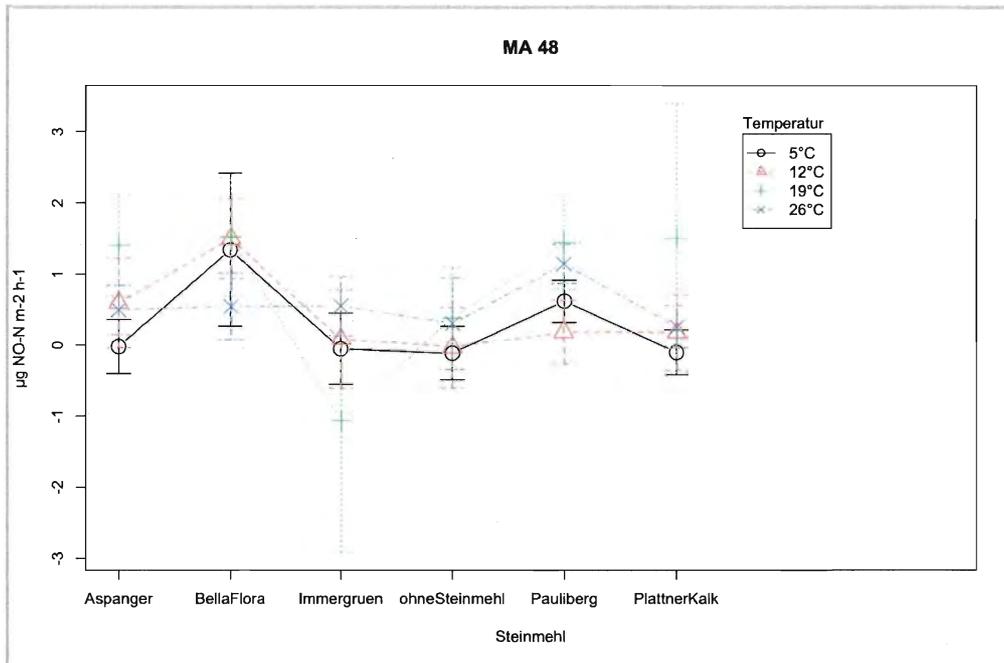


Abbildung 5-71: Steinmehl MA48 NO Werte

Mit einem Signifikanzniveau von 5% hat der Faktor „Steinmehl“ keinen Einfluss auf die Entwicklung des treibhausrelevanten Gases NO₂ (siehe Abbildung 5-72).

```

> lm3c <- lm(NO2 ~ Steinmehl + Temperatur + Feuchtigkeit + Kompost + Block
+ Steinmehl:Kompost + Steinmehl:Temperatur + Steinmehl:Feuchtigkeit, data=dat)

> Anova(lm3c)
Anova Table (Type II tests)

Response: NO2

```

	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
Steinmehl	23299	5	1.9108	0.0920583 .
Temperatur	32905	1	13.4935	0.0002796 ***
Feuchtigkeit	11984	1	4.9143	0.0273226 *
Kompost	326510	1	133.8925	< 2.2e-16 ***
Block	3864	1	1.5847	0.2089839
Steinmehl:Kompost	22029	5	1.8067	0.1110096
Steinmehl:Temperatur	24394	5	2.0007	0.0781675 .
Steinmehl:Feuchtigkeit	8155	5	0.6689	0.6473361
Residuals	797421	327		

```

---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Abbildung 5-72: statistische Auswertung NO₂ "Steinmehl"

Im Kompost der Firma Sonnenerde sind für einige Varianten mit Steinmehl (Aspanger, Pauliberg und PlattnerKalk) die NO₂ Werte bei einer Temperatur von 12°C höher als bei 26°C. Die NO₂ Werte bei 19°C liegen bei allen Varianten unterhalb der NO₂ Werte von 12°C und 26°C (siehe Abbildung 5-73).

Auch bei den NO₂ Werten weisen die Varianten ohne Steinmehl und mit dem Gesteinsmehl der Marke bellaFlora die höchsten Werte auf, so wie bereits bei den CO₂ und NO Werten.

Die Varianten mit dem Gesteinsmehl von Aspanger und Pauliberg zeigen die niedrigsten NO₂ Werte.

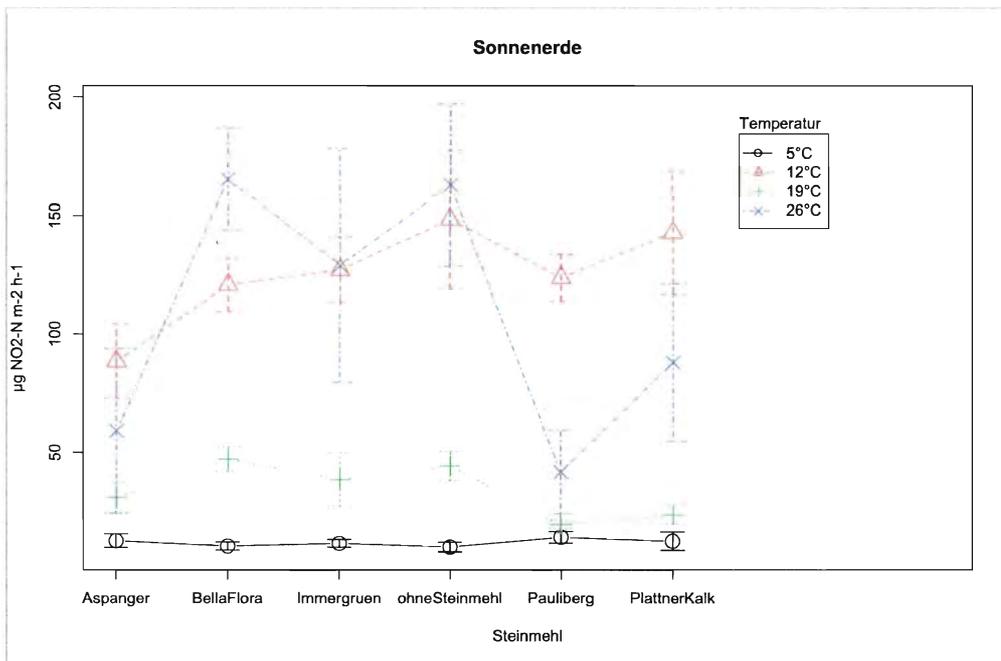


Abbildung 5-73: Steinmehl Sonnenerde NO₂ Werte

Im Kompost der Firma MA48 können für die NO₂ Werte keine Aussagen gemacht werden, da die Entwicklung der stickstoffhaltigen Gase sehr gering war (siehe Abbildung 5-74).

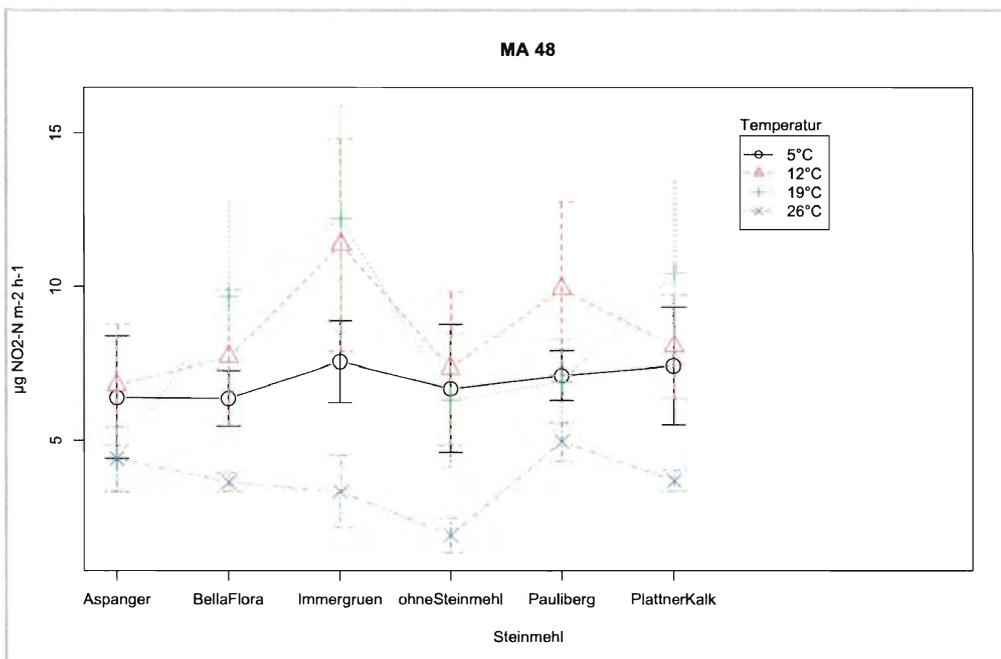


Abbildung 5-74: Steinmehl MA48 NO₂ Werte

5.2.2 Methan, Lachgas

Durch die Anordnung der Versuchsreihe konnten keine Methan- und Lachgaswerte gewonnen werden. Die 24 Messkammern wurden vor der manuellen Entnahme nicht durchlüftet.

Durch die NO_x Messungen sind ca. 20 Stunden vergangen, in denen die Proben in den Kammern waren.

Das NO_x Gerät hat weiter Proben abgesaugt und Pressluft wurde ins System weiter hineingeführt. Somit sollte ein Gasaustausch bis zur manuellen Probeentnahme gewährt sein. Jedoch vergehen bei 24 Kammern fast 4 Stunden, bis die erste Kammer wieder gemessen wird. Dieser Zeitraum stellte sich als zu lange heraus, die Anfangswerte aller Gaskonzentrationen waren zu hoch und so konnten die Daten nicht sinnvoll ausgewertet werden.

6 Schlussfolgerungen und Diskussion

Von Steinbrüchen aus ganz Österreich wurden Gesteinsmehlproben untersucht. Die untersuchten Gesteinsmehle beinhalteten 15 karbonathältige Gesteinsmehle und 20 silikathältige Gesteinsmehle.

Die Gesteinsmehle hatten, wie erwartet, einen sehr geringen und zum Großteil keinen Wassergehalt. Die beiden Basaltmehle von Klösch und Kogler und das Gesteinsmehl der Firma Umweltpionier wiesen etwas höhere Wassergehalte von 3% (Klösch), 4% (Kogler) und 4% (Umweltpionier) auf.

Der Großteil der Gesteinsmehle (23 von 35 Gesteinsmehlproben) bewegt sich in einem leicht basischen pH-Wert von 8,1 bis 8,4. Die pH-Werte der karbonathältigen Gesteinsmehle sind tendenziell höher als jene der silikathältigen Gesteinsmehle. Das Kalkmehl der Firma Marko fiel durch einen sehr hohen pH-Wert von 9,7 auf. Dieser hohe pH-Wert kann durch leichte „Verunreinigungen“ des Kalks durch Branntkalk oder Löschkalk erklärt werden. In einem Versuch wurde festgestellt, dass 0,2% „Verunreinigung“ genügen, um den pH-Wert von Kalziumkarbonat von 8,4 auf 11,7 zu heben.

Die elektrische Leitfähigkeit der Gesteinsmehle ist in einem sehr niedrigen Bereich angesiedelt. Das Gesteinsmehl der Firma Hollitzer hebt sich mit einer elektrischen Leitfähigkeit von 638 $\mu\text{S}/\text{cm}$ hervor. SCHÖN (1996) erklärt eine höhere elektrische Leitfähigkeit durch einen höheren Tonanteil. Für weitere Forschungen wäre eine Tonmineralanalyse des Hollitzer Gesteinsmehles sinnvoll.

Im Gesamtmineralbestand der Gesteinsmehle sind Quarz, Glimmer und Feldspäte am häufigsten vertreten. Bei den Feldspäten kommen Plagioklase eine Spur häufiger und mit einem tendenziell höheren Gehalt vor.

Da die Gesteinsmehle aus unterschiedlichsten Gesteinen gewonnen wurden, kommt bei den karbonathältigen Gesteinsmehlen das Mineral Kalzit zum Großteil als Hauptbestandteil vor. Bei nur 2 karbonathältigen Gesteinsmehlen ist Dolomit der Hauptbestandteil. Das Gesteinsmehl der Firma Plattner weist als einziges neben einem hohen Kalzitgehalt von 62% einen hohen Dolomitgehalt von 36% auf.

Die silikathältigen Gesteinsmehle beinhalten alle, bis auf den Klöcher Basalt, Quarz als Hauptbestandteil oder Nebenbestandteil oder in Spuren.

Glimmer konnte in fast allen silikathältigen Gesteinsmehlen, bis auf das Gesteinsmehl der Firma Magnolithe und Pinkataler, nachgewiesen werden.

Bei den Gesteinsmehlen, welche aus dem Gestein der Granitfamilie bzw. Gneis stammen, sind Feldspat, Quarz und Glimmer die Hauptkomponenten. Das Gesteinsmehl der Marke Immergrün ist dieser Gesteinsgruppe zugeordnet und beinhaltet als einziges Gesteinsmehl der Granitfamilie bzw. Gneis eine Spur Kalzit (2%) und Dolomit (1%). Die restlichen Gesteinsmehle dieser Gruppe beinhalten keine karbonathältigen Minerale.

In der Gruppe der Basalte und Diabas dominieren Plagioklase. Auch hier sind karbonathältige Minerale nur bei einem Gesteinsmehl vertreten. Das Biolit Gesteinsmehl beinhaltet neben Plagioklase, Quarz und Chlorit als Hauptbestandteile 2% Kalzit und 8% Dolomit als Nebenbestandteile.

Silikathältige Gesteine, welche weder der Granitfamilie bzw. Gneis, noch der Gruppe der Basalte bzw. Diabas, zuzuordnen waren, wurden in die Gruppe diverse Gesteine zusammengefasst. Das Gesteinsmehl der Firma Magnolithe hebt sich ab, da es als einziges Gesteinsmehl Serpentin und Talk als Hauptbestandteil aufweist.

Der Großteil der Gesteinsmehle hat den Hauptanteil seiner Korngröße in der Fraktion Schluff. Die Fraktion Kies kam nur bei sehr wenigen silikathältigen Gesteinsmehlen vor und war bei den karbonathältigen Gesteinsmehlen nicht vertreten.

Mit einem hohen Sandanteil sind bei den karbonathältigen Gesteinsmehlen die Firma Sölker Marmor und Renz vertreten, wogegen bei den silikathältigen Gesteinsmehlen 6 Gesteinsmehle einen hohen Sandanteil aufweisen.

Bei den silikathältigen Gesteinsmehlen kommen die höchsten Kies, Sand und Tonanteile vor, wogegen bei den karbonathältigen Gesteinsmehlen der höchste Schluffanteil platziert ist.

Den höchsten Kiesanteil (23,8%) hat das Basaltmehl der Firma Klöch. Beim Sandanteil ist die Kärntner Montanindustrie am stärksten (83%). Das Dolomitmehl der Firma Eberstein hat den höchsten Schluffanteil mit 84,5%. Der höchste Tonanteil mit 35,4% wurde im Gesteinsmehl der Firma Umweltpionier gemessen.

Bei den Treibhausgasmessungen liegen für Lachgas und Methan keine verwertbaren Ergebnisse vor. Die Gasproben für Lachgas und Methan wurden manuell nach den CO₂ und NO_x Messungen entnommen. Die Gasanreicherung war in einzelnen Kammern zu groß. Dadurch konnte kein Gasfluss eruiert werden.

Die manuelle Probenentnahme für die Lachgas- und Methanwerte muss überarbeitet werden. Die Probenkammern benötigen vor der Gasprobenentnahme eine gute Durchlüftung, um eine Gasanreicherung in der Kammer zu verhindern.

Weiters sollte bei den Treibhausgasmessungen jeden Tag der wassergefüllte Porenraum (WFPS) der Proben korrigiert werden, da im Inkubator mit Pressluft gearbeitet wird, welche die Proben austrocknet.

Für die Messungen der Treibhausgaswerte CO_2 , NO und NO_2 konnten Ergebnisse gewonnen werden. Die statistische Auswertung in zwei Blöcke ergab keine signifikanten Unterschiede für die CO_2 und NO_2 Werte. Daher kann davon ausgegangen werden, dass durch das Aufteilen der 4 Wiederholungen in zwei Messzyklen, kein Einfluss auf die Messgaswerte gegeben ist. Für die NO Werte ist ein Unterschied der beiden Blöcke mit einer Signifikanz von 0,025 errechnet worden. Die unterschiedlichen Werte ergeben sich vor allem aus den NO Werten des Kompostes der Firma Sonnenerde bei 19°C.

Der Unterschied der beiden Komposte der Firma Sonnenerde und MA48 ist für alle drei Gaswerte CO_2 , NO und NO_2 signifikant. Wobei bei den CO_2 Werten der Kompost der MA48 die höheren Werte erzielt, hingegen bei den NO und NO_2 Werten der Kompost der MA48 keine Stickoxide zu entwickeln scheint. Bei den NO und NO_2 Werten konnten nur im Kompost der Firma Sonnenerde eine Emission gemessen werden.

Der wassergefüllte Porenraum (WFPS) ergibt Unterschiede bei allen 3 gemessenen Treibhausgaswerten, wobei der Einfluss bei den NO Werten am größten war, gefolgt von den CO_2 Werten. Im Kompost der Firma Sonnenerde steigt der Unterschied zwischen den beiden Wassergehalten mit steigender Temperatur an. Fast immer sind die Werte des 40%tigen WFPS höher als die Werte des 70%tigen WFPS. Ausnahme bilden die NO_2 Werte im Kompost der Firma Sonnenerde. In den ersten 3 Temperaturstufen (5°C, 12°C und 19°C) gehen die Werte für 40% und 70% WFPS parallel und bei 26°C steigen die Werte für die Kompostproben mit 70% WFPS höher an, als jene mit 40% WFPS.

Wie in der Literatur beschrieben, geht der Anstieg der CO_2 Werte mit dem Temperaturanstieg einher. Die NO Werte für den Kompost der Firma Sonnenerde steigen mit dem Anstieg der Temperatur an, genauso wie die CO_2 Werte für beide Komposte mit der Temperatur korrelieren. Für die NO_2 Werte bei der Firma Sonnenerde verhält es sich anders. Hier steigen die Werte bei 12°C an und sinken bei 19°C wieder ab.

Teilweise ergibt sich durch den unterschiedlichen Wassergehalt ein größerer Unterschied in den Werten als durch den Temperaturanstieg. Die NO Werte im Kompost Sonnenerde weisen bereits bei 19°C mit 40% WFPS so hohe Werte auf, wie bei 26°C die Variante mit 70% WFPS.

Die unterschiedlichen Gesteinsmehle haben bei den CO₂ Werten einen signifikanten Einfluss. Für die NO und NO₂ Werte konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Jedoch ist derselbe Trend wie bei den CO₂ Werten erkennbar. Die Varianten ohne Steinmehl und mit dem Gesteinsmehl der Marke bellaFlora weisen bei allen 3 Treibhausgaswerten die höchsten Werte auf. Das Gesteinsmehl der Marke bellaFlora hat einen hohen Sandanteil (71,3%) im Gegensatz zu den Gesteinsmehlen der Marke Immergrün (37,4%) und der Firmen Aspanger (30,5%), Pauliberg (8,9%) und PlattnerKalk (13,4%), welche auch für die Treibhausgasmessungen herangezogen wurden.

Die Steinmehle mit kleiner Korngröße zeigten eine Reduktion der Entwicklung treibhausrelevanter Gase. Gründe dafür könnten die Reduktion des luftgefüllten Porenraumes sein oder die Adsorption der Nährstoffe und des Wassers an die Gesteinsmehloberfläche.

Welche Gesteinsmehle für den jeweiligen Kompost optimal sind, muss in weiteren Versuchen geklärt werden. Von Interesse ist weiters, ob sich der Nährstoffwert des Kompostes für die Pflanze durch die Beimengung von Gesteinsmehl zum Kompost verändert.

Die reduzierende Wirkung auf die Emissionen von treibhausrelevanten Spurengasen aus Kompost durch feinkörnige Gesteinsmehle konnte in diesem Versuch nachgewiesen werden. In weiteren Versuchen soll die Wirkung von Steinmehl auf die Emissionen von Spurengasen aus Kompost während der Kompostierung geprüft werden.

7 Literaturverzeichnis

ADAMS, R. S., F. J. STEVENSON (1964): Ammonium Sorption and Release from Rocks and Minerals 1, Soil Science Society of America journal, Vol. 28, American Society of Agronomy, S.345.

AGGARWAL, R. K., J.P. GUPA, P. KAUL (1980): Nitrogen mineralization as affected by the addition of pond sediments and bentonite clay to a sandy soil under different moisture regimes, J. Indian Soc. Soil Sc., Vol. 28, 444-449.

AMLINGER F. und PEYR S. (2003): Umweltrelevanz der dezentralen Kompostierung. Klimarelevante Gasemissionen, flüssige Emissionen, Massenbilanz, Hygienisierungsleistung. Endbericht Dezember 2003. Im Auftrag von Amt der Wiener Landesregierung - MA 48, Amt der Niederösterreichischen Landesregierung - RU3, Amt der oberösterreichischen Landesregierung - Abt. Umweltschutz, Amt der Salzburger Landesregierung - Abt. 16/01 Umweltschutz, Amt der Tiroler Landesregierung - Abt. Umweltschutz und BM für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft - Abt. V/4 und VI/4. Kompost - Entwicklung und Beratung. Technisches Büro für Landwirtschaft, DI Florian Amlinger, Perchtoldsdorf.

AMLINGER F., J. CLEMENS, C. CUHLS, U. HILDEBRANDT, J. MÜSKEN & S. PEYR (2005): Stand der Technik der Kompostierung, Grundlagenstudie, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Hrg.), Wien.

AMLINGER, F. (2005): Stand der Technik der Kompostierung. Richtlinien des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wien: BMLFUW.

APPLETON, D. (1990): Rock and Mineral Fertilizers, *Appropriate Technology*, Vol. 17, No. 2, pp. 25-27.

AUBERT, C., (1975): Muttergesteine als Düngemittel für Boden und Gesundheit Nr. 89, Sonderdruck Nr. 59, Verlag Boden und Gesundheit, Langenburg.

BEAUCHAMP EG (1997): Nitrous oxide emission from agricultural soils, Can. J. Soil Sci., Vol. 77 (2), pp. 113-123.

BIOVERORDNUNG (2007): Verordnung des Rates der Europäischen Union über die Ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von Ökologischen/biologischen Erzeugnissen und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 2092/91, Verordnung (EG) Nr. 834/2007.

BLUM, W. E. H., B. HERBINGER, A. MENTLER, F. OTTNER, M. POLLAK, E. UNGER und W. W. WENZEL (1989): Zur Verwendung von Gesteinsmehlen in der Landwirtschaft. I. Chemisch-mineralogische Zusammensetzung und Eignung von Gesteinsmehlen als Düngemittel, Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Vol. 152, pp. 421-425.

BLUM, W. E. H., B. HERBINGER, A. MENTLER, F. OTTNER, M. POLLAK, E. UNGER und W. W. WENZEL (1989): Zur Verwendung von Gesteinsmehlen in der Landwirtschaft. II. Wirkung von Gesteinsmehlen als Bodenverbesserungsmittel, Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Vol. 152, pp. 427-430.

BRAUCH, H. (1996): Klimapolitik, Springer Verlag Berlin.

BRAUNER, H. (1974): Die wissenschaftliche Grundlage des organisch-biologischen Landbaus, Fördergemeinschaft für gesundes Bauerntum, Linz/Österreich.

BREMNER, J.M. (1997): Sources of nitrous oxide in soils, Nutrient Cycling in Agroecosystems, Vol. 49, pp. 7-16.

CAMPBELL N. S. (2009): The Use of Rockdust and Composted Materials as Soil Fertility Amendments, University of Glasgow.

CERCL AIR (2003): Minderung der Ammoniak-Emissionen aus der Landwirtschaft, Abdeckung neuer Güllelager, Vollzugshilfe zur Luftreinhaltung, Schweizerische Gesellschaft der Lufthygiene-Fachleute.

Chadwick, D., S. SOMMER, R. THORMAN, D. FANGUEIRA, L. CARDENAS, B. AMON und T. MISSELBROOK (2011): Manure management: Implications for greenhouse gas emissions, Animal Feed Science and Technology, Vol. 166-167, pp. 514-531.

CORONEOS, C., P. HINSINGER & R. J. GILKES (1996): Granite powder as a source of potassium for plants, A glasshouse bioassay comparing two pasture species, Fertilizer Research, Vol. 45, pp. 143-152.

COLE, C. V., J. DUXBURY, J. FRENEY, O. HEINEMEYER, K. MINAMI, A. MOSIER, K. PAUSTIAN, N. ROSENBERG, N. SAMPSON, D. SAUERBECK und Q. ZHAO (1997): Global estimates of potential mitigation of greenhouse gas emissions by agriculture, Nutrient CYCLing in Agroecosystems, Vol. 152, pp. 421-425.

CUHLS C., B. MÄHL, S. BERKAU und J. CLEMENS (2008): Ermittlung der Emissionssituation bei der Verwertung von Bioabfällen, Abschlussbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes, Gewitra - Ingenieurgesellschaft für Wissenstransfer mbH, Bonn.

DUNST, G. (2012): Gespräch bei Kompostübergabe über Komposteigenschaften. 19.Nov. 2012

DÜNGEMITTELVERORDNUNG (2004), Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, mit der Bestimmungen zur Durchführung des Düngemittelgesetzes 1994, BGBl II Nr. 100/2004, <http://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20003229> (20.Juni 2013).

ENQUÊTE-KOMMISSION „SCHUTZ DER ERDATMOSPHÄRE“ DES DEUTSCHEN BUNDESTAGES (1994): Schutz der Grünen Erde, Klimaschutz durch umweltgerechte Landwirtschaft und Erhalt der Wälder, Economica Verlag, Bonn, 702 S.

FACHBEIRAT FÜR BODENFRUCHTBARKEIT UND BODENSCHUTZ DES BMLFUW, http://www.ages.at/fileadmin/redakteure/lwtbgb/Download_Broschueren/standpunkt_gesteinsmehle.pdf (19.Juni 2013).

FAL - BUNDESFORSCHUNGSANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT / LANDBAUFORSCHUNG VÖLKENRODE (2000): Bewertung von Verfahren der ökologischen und konventionellen landwirtschaftlichen Produktion im Hinblick auf den Energieeinsatz und bestimmte Schadgasemissionen, Wissenschaftliche Mitteilungen der FAL, Sonderheft 211, ISBN 3-933140-33-1.

FLEISCHMANN, R., E. BINNER, G. PIETSCH, J.K FRIEDEL (2009) : Einfluss von Ausgangsmaterialzusammensetzung und Kompostiertechnik auf die Qualität von Luzerne - Kompost, Projektbericht, Universität für Bodenkultur, 2009.

- FLEMMING, H.C., M. FAULSTICH (1995): Was geschieht bei der biologischen Abfallbehandlung. In: Praxis der biologischen Abfallbehandlung – 18. Mülltechnische Seminar. Berichte aus der Wassergüte- und Abfallwirtschaft, Bd. 121, FAULSTICH, R.E., KOLB, M., NETTER, R.E. (Hrsg.), Technische Universität München, 5-48.
- FRAGSTEIN, P. V., W. PERTL, & H. VOGTMANN (1988): Verwitterungsverhalten silikatischer Gesteinsmehle unter Laborbedingungen, Z. Pflanzenernähr. Bodenk., 151: 141–146. DOI: 10.1002/jpln.19881510214.
- FRAGSTEIN, P. (1986): Silikatische Gesteinsmehle – qualitative und quantitative Aspekte (in H. Vogtmann, E. Boehnke, I. Fricke: Öko-Landbau – eine weltweite Notwendigkeit). Karlsruhe .
- GEOLEXIKON (2013): Abbildung der Korngrößenskala unter www.geodsz.com/deu/d/Korngrösse (am 3.August 2013)
- GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT (2013): geologische Karte Österreich unter <http://www.geologie.ac.at/services/web-services/> (am 7.Juli 2013)
- GILLMAN, G.P. (1980) : The effect of crushed basalt scoria on the cation-exchange properties of a highly weathered soil, Soil Science Society of America Journal, Vol. 44, pp. 465-468.
- GOTTSCHALL, R. (1992): Kompostierung – Optimale Aufbereitung und Verwendung organischer Materialien im ökologischen Landbau, Alternative Konzepte, Nr. 45., Karlsruhe: Verlag C. F. Müller.
- HALL, P.L. (1987): Clays: their significance, properties, origins and uses, M.J. Wilson, A Handbook of determinative methods in clay mineralogy, Glasgow, Blackie & Son, S. 1-25.
- HAMAKER, J. D. (1982): The Survival of Civilization, Hamaker-Weaver Publishers, Michigan.
- HEIM, D. (1990): Tone und Tonminerale: Grundlagen der Sedimentologie und Mineralogie, Enke, Stuttgart.
- HELLEBRAND H. J. (1999): Lachgasemissionen beim Kompostieren, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Berichte über Landwirtschaft, Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft, Band 77, Heft 1, S. 104-108.
- HERRMANN, L und STAHR, K. (2000): Einfluss der Landbewirtschaftung auf Boden und Landschaft – Beispiele aus dem Kraichgau -, Exkursionsführer zur bodenkundlich-agrarökologischen Exkursion, VDLUFA-Tagung 18.-22.09.2000 in Hohenheim.
- HENNIG, ERHARD (1981): Humus, Stickstoff, Urgesteinsmehl, T. Marczell, München.
- HINSINGER, P., M. D. A. BOLLAND & R. J. GILKES (1996): Silicate rock powder: Effect on selected chemical properties of a range on soils from Western Australia and on plant growth as assessed in a glasshouse experiment, Fertilizer Research, Vol. 45, pp. 69-79.
- IAEA (1992): Manual on measurements of methane and nitrous oxide emissions from agriculture, International Atomic Energy Agency, Vienna.
- IFA & FAO (2001): Global estimates of gaseous emissions of NH₃, NO and N₂O from agricultural land, International Fertilizer Industry Association, Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rom.

IPCC (2001): Third Assessment Report: Climate Change 2001, The Scientific Basis, Cambridge University Press, Cambridge.

IPCC (2007): Climate Change 2007: Synthesis Report, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment, Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.), IPCC, Genf.

KELLER, W.D. (1948): Nativ rocks and minerals as fertilizers, The Scientific Monthly, Vol. 66, pp. 122-130.

KILLIAN, W. (1986): Gesteinsmehl - Heilmittel für den Wald?, Allgemeine Forstzeitschrift, S. 377-378.

KISTNER-OTHMER, M. (1989): Einstreu von Steinmehl in Hühnerställe zur Verbesserung des Hofdüngers und der Stallluft.

KOBUS, J. (1979): Effect of bentonite added to loose sandy soil together with excess of P and K on the yield and chemical composition of cereals, Polish J. Soil Sci., Vol. 12, pp. 45-51.

KOMPOSTVERORDNUNG (2001): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Qualitätsanforderungen an Komposte aus Abfällen, BGBl II 292/2001, <http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/umweltthemen/landwirtschaft/Duengereinsatz/Kompostverordnung.pdf> (12. 2. 2009).

KÖRNER, I. (2008): Stickstoffhaushalt bei der Kompostierung: Bilanzen, Gehalte, Umsetzungs- und Austragsprozesse, Habilitationsschrift Technische Universität Hamburg-Harburg.

KROEZE, C. & MOSIER, A., J. VAN HAM, A. P. M. BAEDE, R. GUICHERT, J. G. F. M. WILLIAMS-JACOBSE (2002): Progress in source strength estimates of nitrous oxide (N₂O), Non-CO₂-Greenhouse Gases, Scientific Understandig, Control options and policy aspects, Proceedings of the Third International Symposium, Maastricht, The Netherlands.

LAATSCH, W. (1938): Dynamik der deutschen Acker- und Wadlböden, Dresden, Leipzig.

LECHNER, P. (1993): Biologie des Rotteprozesses, Amlinger, Handbuch der Kompostierung, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien, S. 92 – 93.

LECHNER, P., R. LINZNER, P. MOSTBAUER, E. BINNER, E. SMIDT (2005): Klimarelevanz der Kompostierung unter Berücksichtigung der Verfahrenstechnik und Kompostanwendung, Universität für Bodenkunde, Institut für Abfallwirtschaft, Wien.

LHOTZKY, J. (1976): Die Melioration von Sandböden, Int. Z. Landw., Ausgabe 20, S. 180-183.

LOPEZ-REAL J. und BAPTISTA M. (1996): A Preliminary Comparative Study of Three Manure Composting Systems and their Influence on Process Parameters and Methane Emissions, Compost Science and Utilization, Vol. 4, No. 3, S. 71-82.

MEIXNER, F. und YANG, W. (2006): Biogenic emissions of nitric oxide and nitrous oxide from arid and semi-arid land. In; Dryland Exohydrology, pp. 233-255. Springer, Dordrecht.

MILLIOT, G. (1970): Geology of Clays, Masson et C^{ie}, Paris.

- MKHABELA, M.S., R. GORDON, D. BURTON, A. MADANI, W. HART (2006): Effect of lime, dicyandiamide and soil water content on ammonia and nitrous oxide emissions following application of liquid hog manure to a marshland soil. *Plant Soil* 284, 351–361.
- MOSIER, A. R., C. KROEZE, C. NEVISON, O. OENEMA, S. P. SEITZINGER & O. VAN CLEEMPUT (1998): Closing the global N₂O budget: nitrous oxide emissions through the agricultural nitrogen cycle, *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Vol. 52, pp. 225-248.
- MOTZ, I. (2003): Einfluß von Bodenbearbeitung, Düngung und Fruchtfolge auf die Lachgasemissionen aus Ackerflächen, Dissertation, Universität Hohenheim, Institut für Agrartechnik.
- MÜLLER, M. (1976): Praktische Anleitung zum organisch-biologischen Gartenbau, 9.Auflage, Bauern-Heimatschule, Großstätten/ Schweiz.
- O'BRIEN, T. A., A. V. BRAKER AND J. CAMPE (1999): Container production of tomato with food by-product composts and mineral fines, *Journal of Plant Nutrition*, VOL. 22, pp. 445-457.
- OTT, P.R. (1990): The composting of farmyard manure with mineral additives and under forced aeration and the utilization of fym and fym compost in crop production, Witzehausen.
- PRESS, F. & SIEVERS, R. (1995): Allgemeine Geologie: Eine Einführung, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- REICHSTEIN, M., J. SUBKE, A. ANGELI und J. TENHUNEN (2005): Does the temperature sensitivity of decomposition of soil organic matter depend upon water content, soil horizon, or incubation time? *Global Change Biology*, 11, 1754-1767.
- REUTER, G., K.W. LÜDERT (1975): Vegetationsversuche zur Problematik der Sandbodenmelioration mit Tonmehl, *Wiss. Z. Univ. Rostock math. Naturw., Reihe 24*, S. 827-831.
- RICE, C. W., P. E. SIERZEGA, J. M. TIEDJE, & L. W. JACOBS (1988): Stimulated denitrification in the microenvironment of a biodegradable organic waste injected into soil, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Vol. 52, pp. 102-108.
- RICHTER, D. (1974): Aufnahme von Kalium aus Tonmineralen und Gesteinsmehlen durch Haferpflanzen, *Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenk.*, 18, S. 271-279.
- ROWELL, D. L. (1997): *Bodenkunde: Untersuchungsmethoden und ihre Anwendungen*, mit 103 Tabellen, Springer, Berlin [u.a.].
- RUSCH, H.V.P. (2004): *Bodenfruchtbarkeit: eine Studie biologischen Denkens*, mit 29 Tabellen, OLV, Organischer Landbau-Verl, Xanten.
- SCHAUFLER, G., B. KITZLER, A. SCHINDLBACHER, U. SKIBA, M. A. SUTTON, S. ZECHMEISTER-BOLTENSTERN (2010): Greenhouse gas emissions from European soils under different land use: effects of soil moisture and temperature, *EUR J SOIL SCI.*, 61(5), pp. 683-696.
- SCHAUFLER, G. (2007): Greenhouse gas emissions from soils under different land use: Effects of soil moisture and temperature.

SCHEFFER, F. & SCHACHTSCHABEL, P. (2002): Lehrbuch der Bodenkunde, Spektrum Akademischer Verlag GmbH, Heidelberg.

SCHINDLBACHER, A., S. ZECHMEISTER-BOLTERNSTERN and K. BUTTERBACH-BAHL (2004): Effects of soil moisture and temperature on NO, NO₂ and N₂O emissions from European forest soils, *J. Geophys. Res.*, 109, 1-12.

SCHMIDT, U. (1988): Einfluß von Bewirtschaftungsmaßnahmen und Umweltfaktoren von Lachgas (N₂O)-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Lößböden. Dissertation Universität Hohenheim. Hohenheimer Bodenkundliche Hefte 45, 1-154

SCHÖN (1996): zitiert in Vorlesung Angewandte Geophysik der TU Wien, DI Ingrid Kreuzer, 13.1.2012

SHIVAY, Y., T. KROGSTAD and B. SINGH (2010): Mineralization of copper, manganese and zinc from rock mineral flour and city waste compost for efficient use in organic farming, *J. Plant and Soil*, Vol. 326, 425-435.

SILVA, M. T. B., B. S. HERMO, E. GARCIA-RODEJA & N. V. FREIRE (2005): Reutilization of granite powder as an amendment and fertilizer for acid soils. *Chemosphere*, 61, 993-1002

SMITH, K., T. BALL, F. CONEN, K. DOBBIE, J. MASSHEDER und A. REY (2003): Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes. *European Journal of Soil Science*, 54, 779-791.

SNOEK, H. und H. WÜLFRATH (1995): Das Buch vom Steinmehl. Entstehung, Verwendung und Bedeutung im Land- und Gartenbau, Deukalion-Verl. Hils, 2.Aufl., Holm

UBA (1994): Umweltpolitik. Klimaschutz in Deutschland. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Satz Druck Service E. Böhm, Hausen/Wien

ULRICH, B., E. MATZNER (1983): Neuere Erkenntnisse aus dem Problemkreis Düngung im Wald. *Allg. Forstz.* 38, 392-393

VANDERZAAG, A. C., S. JAYASUNDARA and C. WAGNER-RIDDLE (2011): Strategies to mitigate nitrous oxide emissions from land applied manure, *J. Animal Feed Science and Technology*, Vol. 166-167, 464-479.

VAN STRAATEN, P. (2006): Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. *Anais da Adademia Brasileira de Ciencias*, 78, 713-747.

WAGNER, H. (2004): Der Einsatz von Steinmehl- Die Aufbereitung von Wirtschaftsdünger. Leonding: Fördergemeinschaft für gesundes Bauerntum.

WANG, J. G., F. S. ZHANG, Y. P. CAO & X. L. ZHANG (2000): Effect of plant types on release of mineral potassium from gneiss. *Nutrient Cyvling in Agroecosystems*, 56, 37-44

WEINGÄRTNER, H. (1960): Über Schiefer und Schiefermehl. *Lebendige Erde*. 111-117

WILLIAMS E. J., G. L. HUTCHINSON & F. C. FEHSENFELD (1992): NO₂ and N₂O emissions from Soil. *Global Biogeochemical Cycles* 6, 351-388

WITTER, E., J. LOPEZ-REAL (1988): Nitrogen losses during the composting of sewage sludge, and the effectiveness of clay soil, zeolite, and compost in adsorbing the volatilized ammonia. *Biol. Wastes* 23, 279-294

ZAIED, H. (1999): Untersuchungen zum Einfluß verschiedener Zusätze auf dem Rotteverlauf, die Stickstoffdynamik und die Kompostqualität bei der Kompostierung von Reststoffen aus der Legehennenhaltung, Forschungs- und Studienzentrum für Veredelungswirtschaft Weser-Ems, Vol. 344, 203.

8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1: Bildungs- und Umbildungspfade der Tonminerale aus Lehrbuch der Bodenkunde (Scheffer & Schachtschabel, 2002).....	8
Abbildung 3-2: Korngrößenskala aus geoLexikon.....	12
Abbildung 3-3: Phasen der Kompostierung (KÖRNER (2008), verändert)	18
Abbildung 3-4: Vereinfachter, schematischer Stickstoffkreislauf (Nach HERRMANN und STAHR, 2000, verändert)	22
Abbildung 4-1: geologische Karte Österreich der GEOLOGISCHEN BUNDESANSTALT, verändert: mit Steinbrüche.....	28
Abbildung 4-2: Proben nach Messung (Foto: E. Pfeffer).....	35
Abbildung 4-3: Innenraum Inkubator (Foto: E. Pfeffer).....	36
Abbildung 4-4: schematische Darstellung NOx & CO2 Messung.....	37
Abbildung 4-5: manuelle Gasprobenentnahme (Foto: E. Pfeffer)	39
Abbildung 5-1: Diffraktogramme Brandkalk/Löschkalk im Vergleich zu Kalkmehl	42
Abbildung 5-2: STA Kalkmehl Marko.....	43
Abbildung 5-3: STA Löschkalk	43
Abbildung 5-4: STA Branntkalk	44
Abbildung 5-5: Diffraktogramm GMA PlattnerKalk	50
Abbildung 5-6: STA PlattnerKalk	51
Abbildung 5-7: STA Dolomit Eberstein	51
Abbildung 5-8: Diffraktogramm Dolomit Eberstein	52
Abbildung 5-9: STA Rhomberg.....	52
Abbildung 5-10: Diffraktogramm Rhomberg	53
Abbildung 5-11: STA Hollitzer	53
Abbildung 5-12: Diffraktogramm Hollitzer.....	54
Abbildung 5-13: Diffraktogramm GMA Immergrün	56
Abbildung 5-14: Diffraktogramm GMA Pauliberg	57
Abbildung 5-15: Diffraktogramm GMA Aspanger Gesteinsmehl	60
Abbildung 5-16: Diffraktogramm GMA bellaFlora.....	60
Abbildung 5-17: Korngrößenverteilung karbonathältige Gesteinsmehle Kategorie "grob"	61
Abbildung 5-18: Kornsummenkurve SölkerMarmor im Vergleich zu Renz.....	62
Abbildung 5-19: Korngrößenverteilung karbonathältige Gesteinsmehle Kategorie "mittel"	63
Abbildung 5-20: Kornsummenkurve Marko im Vergleich zu Wietersdorfer	63
Abbildung 5-21: Korngrößenverteilung karbonathältige Gesteinsmehle Kategorie "fein"	64
Abbildung 5-22: Kornsummenkurve Omya im Vergleich zu Wietersdorfer (fein)	64

Abbildung 5-23: Korngrößenverteilung silikathältige Gesteinsmehle Kategorie "grob".....	67
Abbildung 5-24: Kornsummenkurve Klösch im Vergleich zu GreenVital	67
Abbildung 5-25: Korngrößenverteilung silikathältige Gesteinsmehle Kategorie "mittel" ...	68
Abbildung 5-26: Kornsummenkurve KlöcherBasalt im Vergleich zu Pinkataler	69
Abbildung 5-27: Korngrößenverteilung silikathältige Gesteinsmehle "fein"	70
Abbildung 5-28: Kornsummenkurve Magnolithe im Vergleich zu Schindele	70
Abbildung 29: Kornsummenkurve Renz im Vergleich zu GreenVital	71
Abbildung 30: Kornsummenkurve Omya im Vergleich zu Umweltpionier	71
Abbildung 5-31: Korngrößenklassen GreenVital	
Abbildung 5-32: Korngrößenklassen bellaFlora.....	72
Abbildung 5-33: Korngrößenklasse Aspanger	72
Abbildung 5-34: Korngrößenklassen Pauliberg	
Abbildung 5-35: Korngrößenklassen PlattnerKalk	72
Abbildung 5-36: statistische Auswertung CO2 "Block"	73
Abbildung 5-37: Unterschied CO2 „Block“ in boxPlots.....	74
Abbildung 5-38: Streudiagramme Faktor "Block" CO2 Werte	74
Abbildung 5-39: statistische Auswertung NO "Block"	75
Abbildung 5-40: Unterschied NO "Block" in boxPlots	75
Abbildung 5-41: Streudiagramme Faktor „Block“ NO Werte	76
Abbildung 5-42: statistische Auswertung NO2 "Block"	76
Abbildung 5-43: Unterschied NO2 „Block“ in boxPlots.....	77
Abbildung 5-44: Streudiagramme Faktor "Block" NO2 Werte	77
Abbildung 5-45: statistische Auswertung CO2 "Kompost"	78
Abbildung 5-46: Unterschied "Kompost" CO2 Werte	78
Abbildung 5-47: statistische Auswertung NO "Kompost"	79
Abbildung 5-48: Unterschied Kompost NO Werte.....	79
Abbildung 5-49: statistische Auswertung NO2 "Kompost"	80
Abbildung 5-50: Unterschied Kompost NO2 Werte.....	80
Abbildung 5-51: statistische Auswertung CO2 "WFPS"	81
Abbildung 5-52: WFPS CO2 Werte.....	81
Abbildung 5-53: statistische Auswertung NO "WFPS"	82
Abbildung 5-54: WFPS NO Werte.....	82
Abbildung 5-55: statistische Auswertung NO2 "WFPS"	83
Abbildung 5-56: WFPS NO2 Werte.....	83
Abbildung 5-57: statistische Auswertung CO2 "Temperatur"	84
Abbildung 5-58: BoxPlots Sonnenerde Temperaturanstieg CO2 Werte	84
Abbildung 5-59: BoxPlots MA48 Temperaturanstieg CO2 Werte	85

Abbildung 5-60: statistische Auswertung NO "Temperatur"	85
Abbildung 5-61: BoxPlots Sonnenerde Temperaturanstieg NO Werte	86
Abbildung 5-62: Boxplots MA48 Temperaturanstieg NO Werte	86
Abbildung 5-63: statistische Auswertung NO2 "Temperatur"	87
Abbildung 5-64: BoxPlots Sonnenerde Temperaturanstieg NO2 Werte	87
Abbildung 5-65: BoxPlots MA48 Temperaturanstieg NO2 Werte.....	88
Abbildung 5-66: statistische Auswertung CO2 "Steinmehl".....	88
Abbildung 5-67: Steinmehl Sonnenerde CO2 Werte.....	89
Abbildung 5-68: Steinmehl MA48 CO2 Werte	89
Abbildung 5-69: statistische Auswertung NO "Steinmehl".....	90
Abbildung 5-70: Steinmehl Sonnenerde NO Werte	90
Abbildung 5-71: Steinmehl MA48 NO Werte	91
Abbildung 5-72: statistische Auswertung NO2 "Steinmehl".....	91
Abbildung 5-73: Steinmehl Sonnenerde NO2 Werte.....	92
Abbildung 5-74: Steinmehl MA48 NO2 Werte	92
Abbildung 10-1: Steinmehl 11657	118
Abbildung 10-2: Röntgendiffraktogramm 11657.....	118
Abbildung 10-3: Kornsummenkurve 11657	119
Abbildung 10-4: Kornverteilung 11657	119
Abbildung 10-5: Korngrößenklassen 11657	119
Abbildung 10-6: Steinmehl 11658	120
Abbildung 10-7: Röntgendiffraktogramm 11658.....	120
Abbildung 10-8: Kornsummenkurve 11658	121
Abbildung 10-9: Kornverteilung 11658	121
Abbildung 10-10: Korngrößenklassen 11658	121
Abbildung 10-11: Steinmehl 11659	122
Abbildung 10-12: Röntgendiffraktogramm 11659.....	122
Abbildung 10-13: Kornsummenkurve 11659	123
Abbildung 10-14: Kornverteilung 11659	123
Abbildung 10-15: Korngrößenklassen 11659	123
Abbildung 10-16: Steinmehl 11660	124
Abbildung 10-17: Röntgendiffraktogramm 11660.....	124
Abbildung 10-18: Kornsummenkurve 11660	125
Abbildung 10-19: Kornverteilung 11660	125
Abbildung 10-20: Korngrößenklassen 11660	125
Abbildung 10-21: Steinmehl 11661	126
Abbildung 10-22: Röntgendiffraktogramm 11661.....	126

Abbildung 10-23: Kornsummenkurve 11661.....	127
Abbildung 10-24: Kornverteilung 11661.....	127
Abbildung 10-25: Korngrößenklassen 11661.....	127
Abbildung 10-26: Steinmehl 11695.....	128
Abbildung 10-27: Röntgendiffraktogramm 11695.....	128
Abbildung 10-28: Kornsummenkurve 11695.....	129
Abbildung 10-29: Kornverteilung 11695.....	129
Abbildung 10-30: Korngrößenklassen 11695.....	129
Abbildung 10-31: Steinmehl 11696.....	130
Abbildung 10-32: Röntgendiffraktogramm 11696.....	130
Abbildung 10-33: Kornsummenkurve 11696.....	131
Abbildung 10-34: Kornverteilung 11696.....	131
Abbildung 10-35: Korngrößenklassen 11696.....	131
Abbildung 10-36: Steinmehl 11697.....	132
Abbildung 10-37: Röntgendiffraktogramm 11697.....	132
Abbildung 10-38: Kornsummenkurve 11697.....	133
Abbildung 10-39: Kornverteilung 11697.....	133
Abbildung 10-40: Korngrößenklassen 11697.....	133
Abbildung 10-41: Steinmehl 11698.....	134
Abbildung 10-42: Röntgendiffraktogramm 11698.....	134
Abbildung 10-43: Kornsummenkurve 11698.....	135
Abbildung 10-44: Kornverteilung 11698.....	135
Abbildung 10-45: Korngrößenklassen 11698.....	135
Abbildung 10-46: Steinmehl 11699.....	136
Abbildung 10-47: Röntgendiffraktogramm 11699.....	136
Abbildung 10-48: Kornsummenkurve 11699.....	137
Abbildung 10-49: Kornverteilung 11699.....	137
Abbildung 10-50: Korngrößenklassen 11699.....	137
Abbildung 10-51: Steinmehl 11710.....	138
Abbildung 10-52: Röntgendiffraktogramm 11710.....	138
Abbildung 10-53: Kornsummenkurve 11710.....	139
Abbildung 10-54: Kornverteilung 11710.....	139
Abbildung 10-55: Korngrößenklassen 11710.....	139
Abbildung 10-56: Steinmehl 11711.....	140
Abbildung 10-57: Röntgendiffraktogramm 11711.....	140
Abbildung 10-58: Kornsummenkurve 11711.....	141
Abbildung 10-59: Kornverteilung 11711.....	141

Abbildung 10-60: Korngrößenklassen 11711	141
Abbildung 10-61: Steinmehl 11712	142
Abbildung 10-62: Röntgendiffraktogramm 11712.....	142
Abbildung 10-63: Kornsummenkurve 11712	143
Abbildung 10-64: Kornverteilung 11712	143
Abbildung 10-65: Korngrößenklassen 11712	143
Abbildung 10-66: Steinmehl 11733	144
Abbildung 10-67: Röntgendiffraktogramm 11733.....	144
Abbildung 10-68: Kornsummenkurve 11733	145
Abbildung 10-69: Kornverteilung 11733	145
Abbildung 10-70: Korngrößenklassen 11733	145
Abbildung 10-71: Steinmehl 11734	146
Abbildung 10-72: Röntgendiffraktogramm 11734.....	146
Abbildung 10-73: Kornsummenkurve 11734	147
Abbildung 10-74: Kornverteilung 11734	147
Abbildung 10-75: Korngrößenklassen 11734	147
Abbildung 10-76: Steinmehl 11735	148
Abbildung 10-77: Röntgendiffraktogramm 11735.....	148
Abbildung 10-78: Kornsummenkurve 11735	149
Abbildung 10-79: Kornverteilung 11735	149
Abbildung 10-80: Korngrößenklassen 11735	149
Abbildung 10-81: Steinmehl 11736	150
Abbildung 10-82: Röntgendiffraktogramm 11736.....	150
Abbildung 10-83: Kornsummenkurve 11736	151
Abbildung 10-84: Kornverteilung 11736	151
Abbildung 10-85: Korngrößenklassen 11736	151
Abbildung 10-86: Steinmehl 11737	152
Abbildung 10-87: Röntgendiffraktogramm 11737.....	152
Abbildung 10-88: Kornsummenkurve 11737	153
Abbildung 10-89: Kornverteilung 11737	153
Abbildung 10-90: Korngrößenklassen 11737	153
Abbildung 10-91: Steinmehl 11738	154
Abbildung 10-92: Röntgendiffraktogramm 11738.....	154
Abbildung 10-93: Kornsummenkurve 11738	155
Abbildung 10-94: Kornverteilung 11738	155
Abbildung 10-95: Korngrößenklassen 11738	155
Abbildung 10-96: Steinmehl 11739	156

Abbildung 10-97: Röntgendiffraktogramm 11739	156
Abbildung 10-98: Kornsummenkurve 11739.....	157
Abbildung 10-99: Kornverteilung 11739.....	157
Abbildung 10-100: Korngrößenklassen 11739.....	157
Abbildung 10-101: Steinmehl 11740	158
Abbildung 10-102: Röntgendiffraktogramm 11740	158
Abbildung 10-103: Kornsummenkurve 11740.....	159
Abbildung 10-104: Kornverteilung 11740.....	159
Abbildung 10-105: Korngrößenklassen 11740.....	159
Abbildung 10-106: Steinmehl 11741	160
Abbildung 10-107: Röntgendiffraktogramm 11741	160
Abbildung 10-108: Kornsummenkurve 11741.....	161
Abbildung 10-109: Kornverteilung 11741	161
Abbildung 10-110: Korngrößenklassen 11741	161
Abbildung 10-111: Steinmehl 11743	162
Abbildung 10-112: Röntgendiffraktogramm 11743	162
Abbildung 10-113: Kornsummenkurve 11743.....	163
Abbildung 10-114: Kornverteilung 11743.....	163
Abbildung 10-115: Korngrößenklassen 11743.....	163
Abbildung 10-116: Steinmehl 11791	164
Abbildung 10-117: Röntgendiffraktogramm 11791	164
Abbildung 10-118: Kornsummenkurve 11791.....	165
Abbildung 10-119: Kornverteilung 11791	165
Abbildung 10-120: Korngrößenklassen 11791.....	165
Abbildung 10-121: Steinmehl 11835.....	166
Abbildung 10-122: Röntgendiffraktogramm 11835	166
Abbildung 10-123: Kornsummenkurve 11835.....	167
Abbildung 10-124: Kornverteilung 11835.....	167
Abbildung 10-125: Korngrößenklassen 11835.....	167
Abbildung 10-126: Steinmehl 11837	168
Abbildung 10-127: Röntgendiffraktogramm 11837	168
Abbildung 10-128: Kornsummenkurve 11837.....	169
Abbildung 10-129: Kornverteilung 11837.....	169
Abbildung 10-130: Korngrößenklassen 11837.....	169
Abbildung 10-131: Steinmehl 11838	170
Abbildung 10-132: Röntgendiffraktogramm 11838	170
Abbildung 10-133: Kornsummenkurve 11838.....	171

Abbildung 10-134: Kornverteilung 11838	171
Abbildung 10-135: Korngrößenklassen 11838	171
Abbildung 10-136: Steinmehl 11839	172
Abbildung 10-137: Röntgendiffraktogramm 11839	172
Abbildung 10-138: Kornsummenkurve 11839	173
Abbildung 10-139: Kornverteilung 11839	173
Abbildung 10-140: Korngrößenklassen 11839	173
Abbildung 10-141: Steinmehl 11840	174
Abbildung 10-142: Röntgendiffraktogramm 11840	174
Abbildung 10-143: Kornsummenkurve 11840	175
Abbildung 10-144: Kornverteilung 11840	175
Abbildung 10-145: Korngrößenklassen 11840	175
Abbildung 10-146: Steinmehl 11908	176
Abbildung 10-147: Röntgendiffraktogramm 11908	176
Abbildung 10-148: Kornsummenkurve 11908	177
Abbildung 10-149: Kornverteilung 11908	177
Abbildung 10-150: Korngrößenklassen 11908	177
Abbildung 10-151: Steinmehl 11961	178
Abbildung 10-152: Röntgendiffraktogramm 11961	178
Abbildung 10-153: Kornsummenkurve 11961	179
Abbildung 10-154: Kornverteilung 11961	179
Abbildung 10-155: Korngrößenklassen 11961	179
Abbildung 10-156: Steinmehl 11962	180
Abbildung 10-157: Röntgendiffraktogramm 11962	180
Abbildung 10-158: Kornsummenkurve 11962	181
Abbildung 10-159: Kornverteilung 11962	181
Abbildung 10-160: Korngrößenklassen 11962	181
Abbildung 10-161: Steinmehl 11974	182
Abbildung 10-162: Röntgendiffraktogramm 11974	182
Abbildung 10-163: Kornsummenkurve 11974	183
Abbildung 10-164: Kornverteilung 11974	183
Abbildung 10-165: Korngrößenklassen 11974	183
Abbildung 10-166: Steinmehl 12118	184
Abbildung 10-167: Röntgendiffraktogramm 12118	184
Abbildung 10-168: Kornsummenkurve 12118	185
Abbildung 10-169: Kornverteilung 12118	185
Abbildung 10-170: Korngrößenklassen 12118	185

Abbildung 10-171: Röntgendiffraktogramm 13622	186
Abbildung 10-172: Kornsummenkurve 13622.....	187
Abbildung 10-173: Kornverteilung 13622.....	187
Abbildung 10-174: Korngrößenklassen 13622.....	187

9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Mittlerer Chemismus, Mineral- und Gesteinsbestand der Erdkruste (Masse $2,85 \cdot 10^{19}t$).....	6
Tabelle 3-2: Teilauszug der erlaubten Zuschlagstoffe für die Herstellung von Qualitätskompost.....	19
Das Treibhausgaspotenzial ist ein Maß für den Beitrag der Spurengase zur Abschirmung der von der Erdoberfläche ausgestrahlten Wärmestrahlung und wird relativ zum CO ₂ -Treibhauspotenzial gesehen. In Tabelle 3-3 werden die Treibhausgaspotentiale (GWP-Werte) der klimawirksamen Gase über einen Zeithorizont von 100 Jahren angeführt.....	21
Tabelle 3-4: Treibhauspotentiale für einen 100 Jahre Horizont (IPCC, fourth Assessment Report, 2007).....	21
Tabelle 4-1: Komposteigenschaften Sonnenerde Firmenangaben	30
Tabelle 4-2: Versuchsanordnung der Treibhausgasmessungen.....	34
Tabelle 5-1: pH-Wert Gesteinsmehl	45
Tabelle 5-2: elektrische Leitfähigkeit Gesteinsmehle	47
Tabelle 5-3: Auswertung GMA karbonathältige Gesteinsmehle.....	49
Tabelle 5-4: Auswertung GMA Granitfamilie/Gneis.....	55
Tabelle 5-5: Auswertung GMA Basalt/Diabas	56
Tabelle 5-6: Auswertung Gesamtmineralanalyse diverse Gesteine.....	58
Tabelle 5-7: karbonathältige Gesteinsmehle gesamt Korngrößenanteil in %.....	65
Tabelle 5-8: silikathältige Gesteinsmehle gesamt Korngrößenanteil in %.....	66
Tabelle 10-1: Treibhausgaswerte Sonnenerde 5°C	188
Tabelle 10-2: Treibhausgaswerte Sonnenerde 5°C und 12°C	189
Tabelle 10-3: Treibhausgaswerte Sonnenerde 12°C und 19°C	190
Tabelle 10-4: Treibhausgaswerte Sonnenerde 19°C	191
Tabelle 10-5: Treibhausgaswerte 19°C und 26°C.....	192
Tabelle 10-6: Treibhausgaswerte Sonnenerde 26°C	193
Tabelle 10-7: Treibhausgaswerte MA48 5°C.....	194
Tabelle 10-8: Treibhausgaswerte MA48 5°C und 12°C	195
Tabelle 10-9: Treibhausgaswerte 12°C und 19°C.....	196
Tabelle 10-10: Treibhausgaswerte MA48 19°C.....	197
Tabelle 10-11: Treibhausgaswerte MA48 19°C und 26°C	198
Tabelle 10-12: Treibhausgaswerte MA48 26°C.....	199

10 Anhang

Steinbruch: **Urgesteinsmehl Bio Furtner**
Verkaufsstelle

IAG-Labor Nr.: 11657

Mineralogie:
Hauptbestandteile: Kalifeldspat, Plagioklase
Nebenbestandteile: Glimmer, Quarz
in Spuren vorhanden: Chlorit
Kalzitgehalt: - %
Dolomitgehalt: - %

Messwerte:
pH-Wert: 6,9
elektr. Leitfähigkeit: 95 $\mu\text{S}/\text{cm}$



Abbildung 10-1: Steinmehl 11657

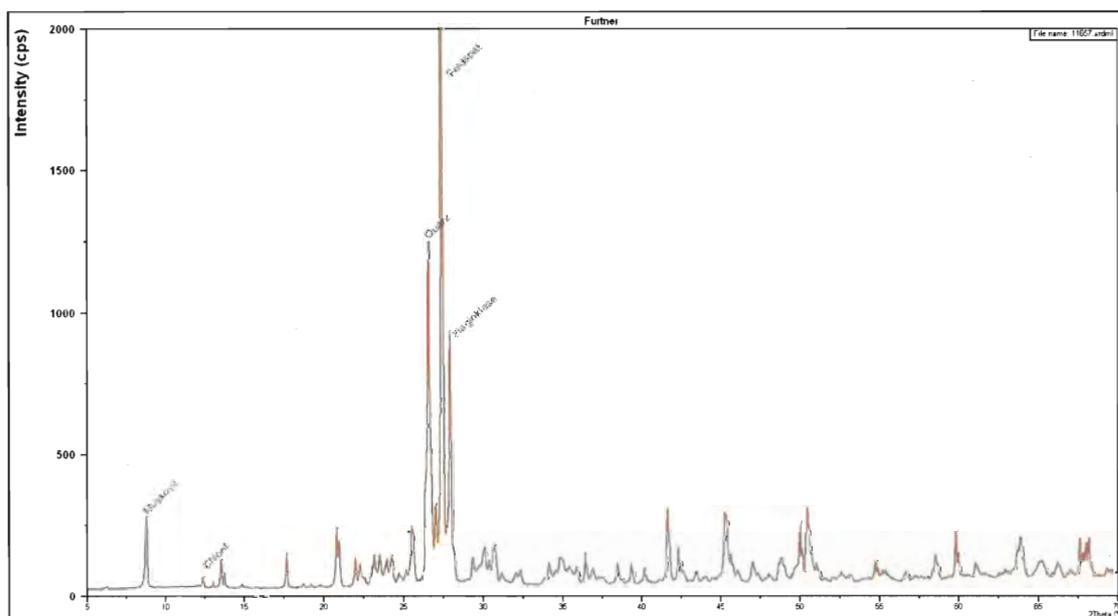


Abbildung 10-2: Röntgendiffraktogramm 11657

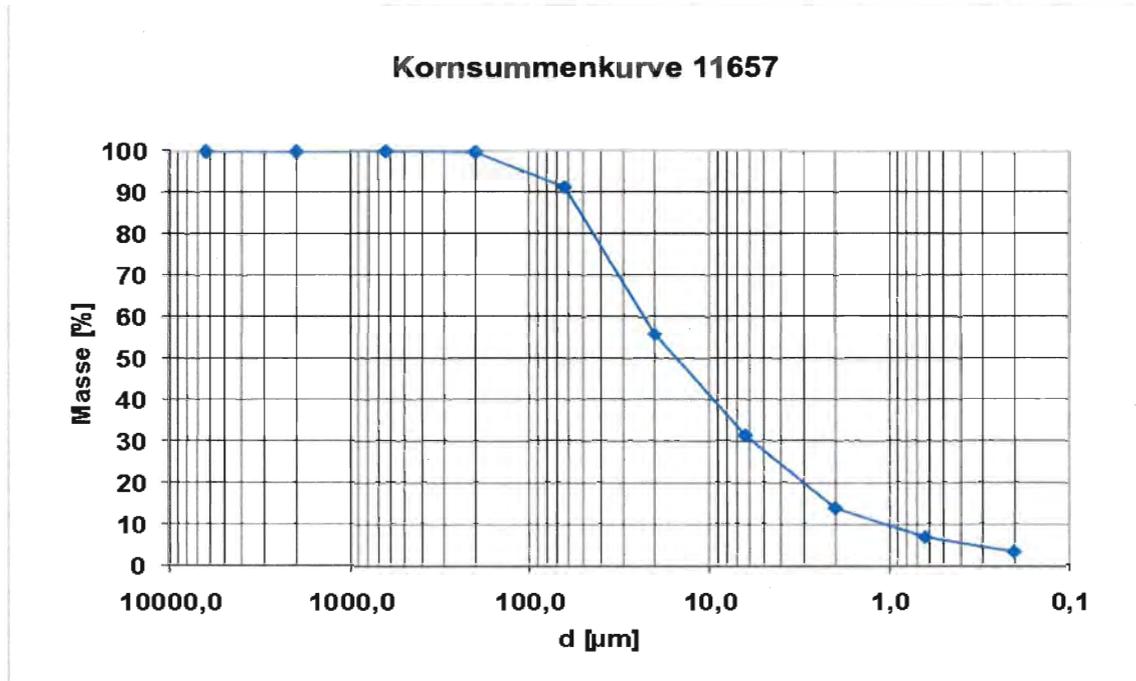


Abbildung 10-3: Kornsummenkurve 11657

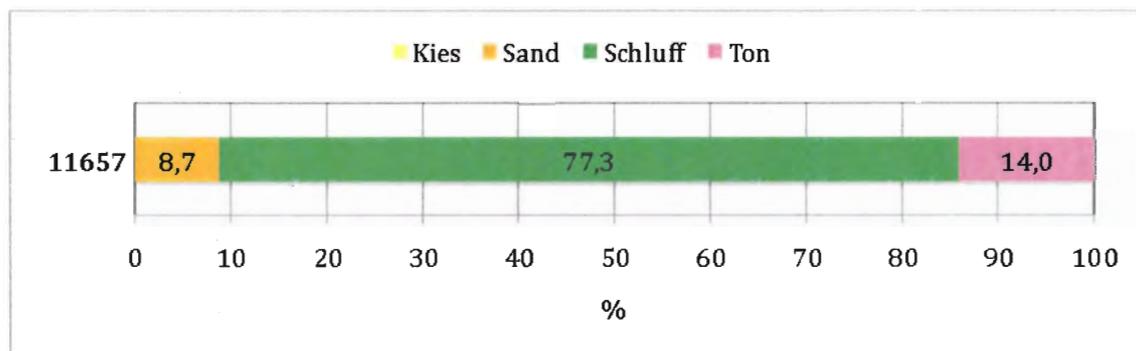


Abbildung 10-4: Kornverteilung 11657

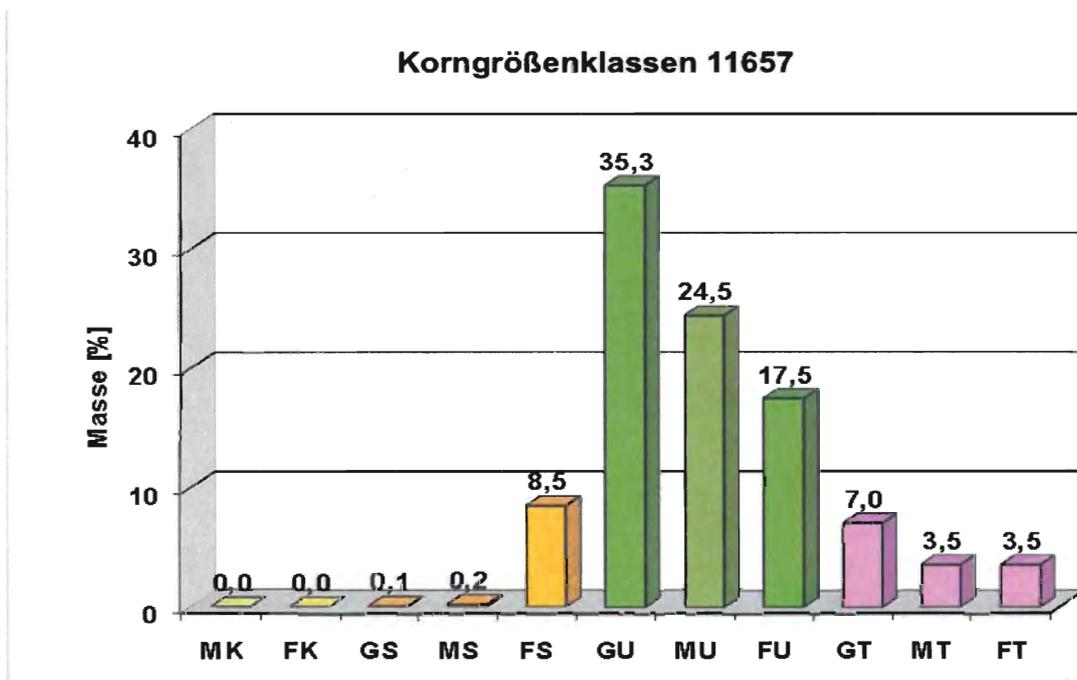


Abbildung 10-5: Korngrößenklassen 11657

Steinbruch: **Urgesteinsmehl Green Vital**
Verkaufsstelle

IAG-Labor Nr.: 11658

Mineralogie:

Hauptbestandteile: Chlorit
Nebenbestandteile: Kalifeldspat, Plagioklase, Kalzit
in Spuren vorhanden: Glimmer, Quarz, Eisenoxide
Kalzitgehalt: 18 %
Dolomitgehalt: - %

Messwerte:

pH-Wert: 8,3
elektr. Leitfähigkeit: 190 $\mu\text{S/cm}$



Abbildung 10-6: Steinmehl 11658

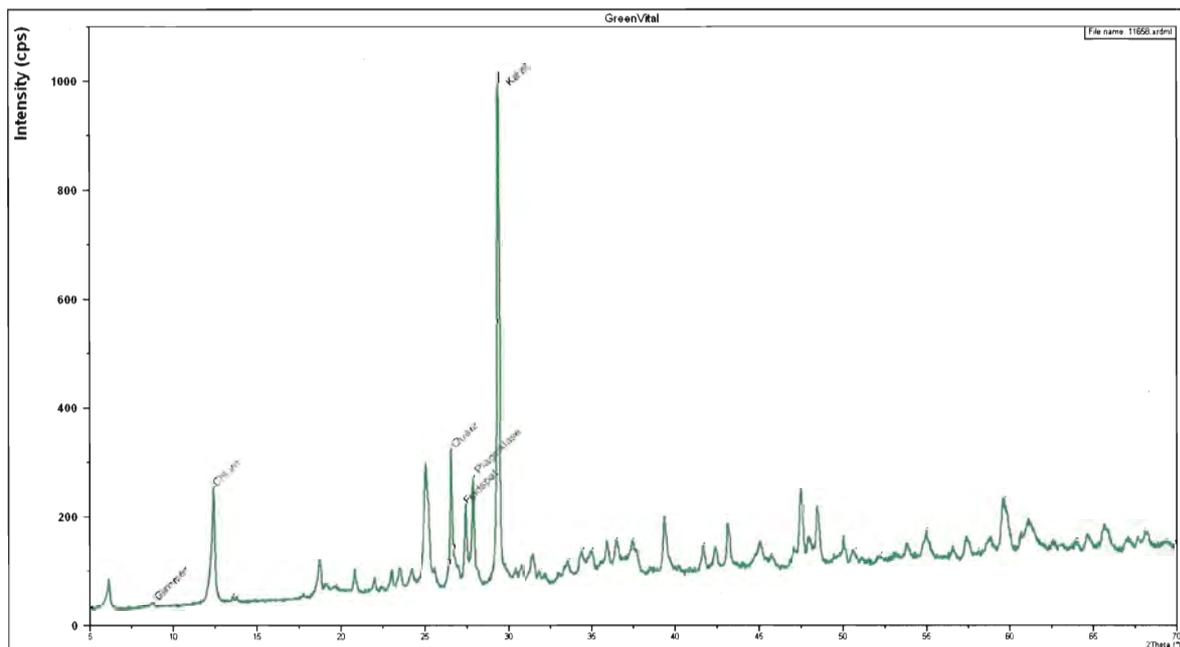


Abbildung 10-7: Röntgendiffraktogramm 11658

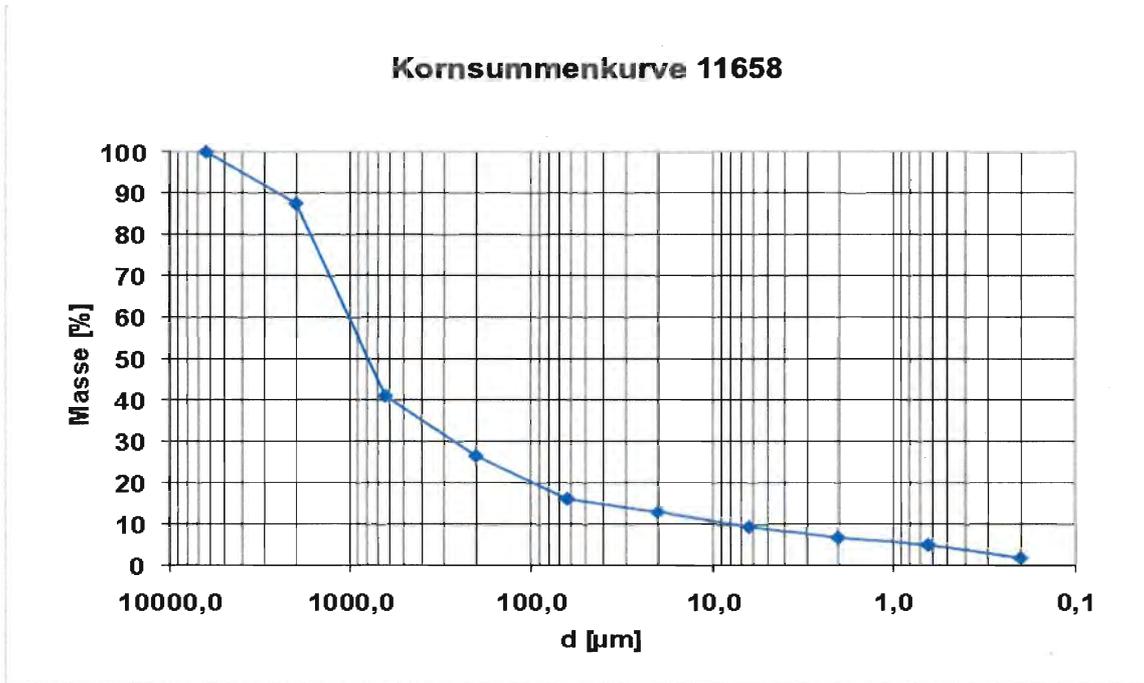


Abbildung 10-8: Kornsummenkurve 11658

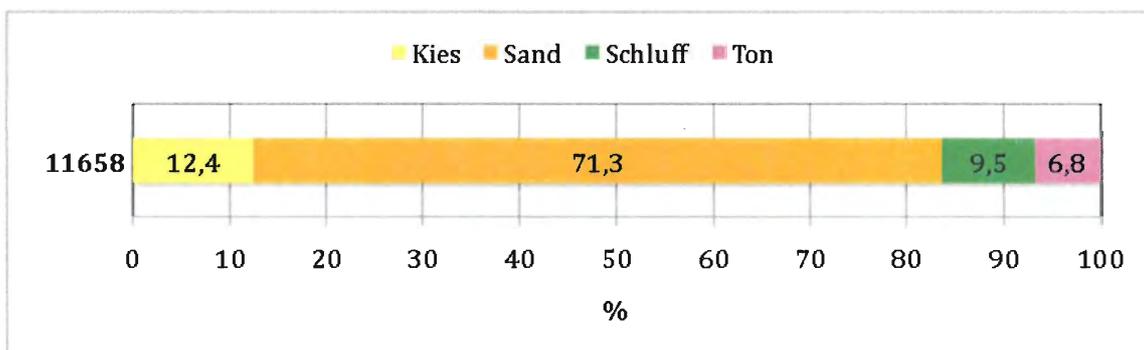


Abbildung 10-9: Kornverteilung 11658

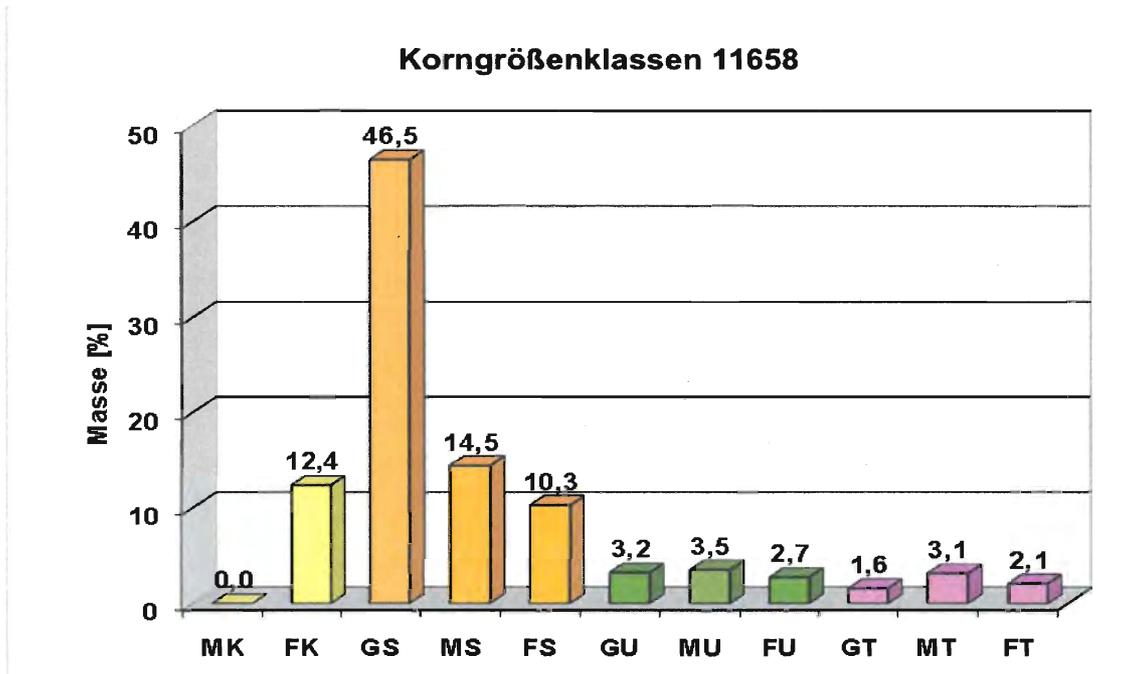


Abbildung 10-10: Korngrößenklassen 11658

Steinbruch: Urgesteinsmehl Immergrün
Verkaufsstelle

IAG-Labor Nr.: 11659

Mineralogie:

Hauptbestandteile: Chlorit, Plagioklase
Nebenbestandteile: Glimmer, Quarz
in Spuren vorhanden: Amphibolit, Kalzit, Dolomit
Kalzitgehalt: 2 %
Dolomitgehalt: 1 %

Messwerte:

pH-Wert: 8,4
elektr. Leitfähigkeit: 174 $\mu\text{S/cm}$



Abbildung 10-11: Steinmehl 11659

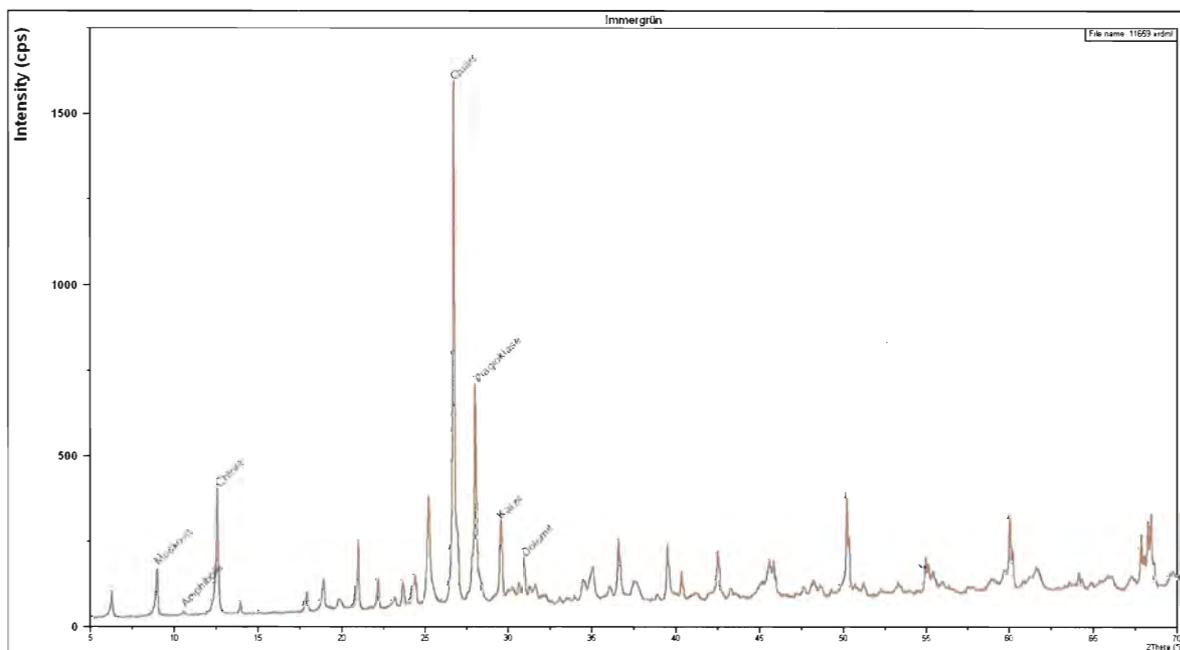


Abbildung 10-12: Röntgendiffraktogramm 11659

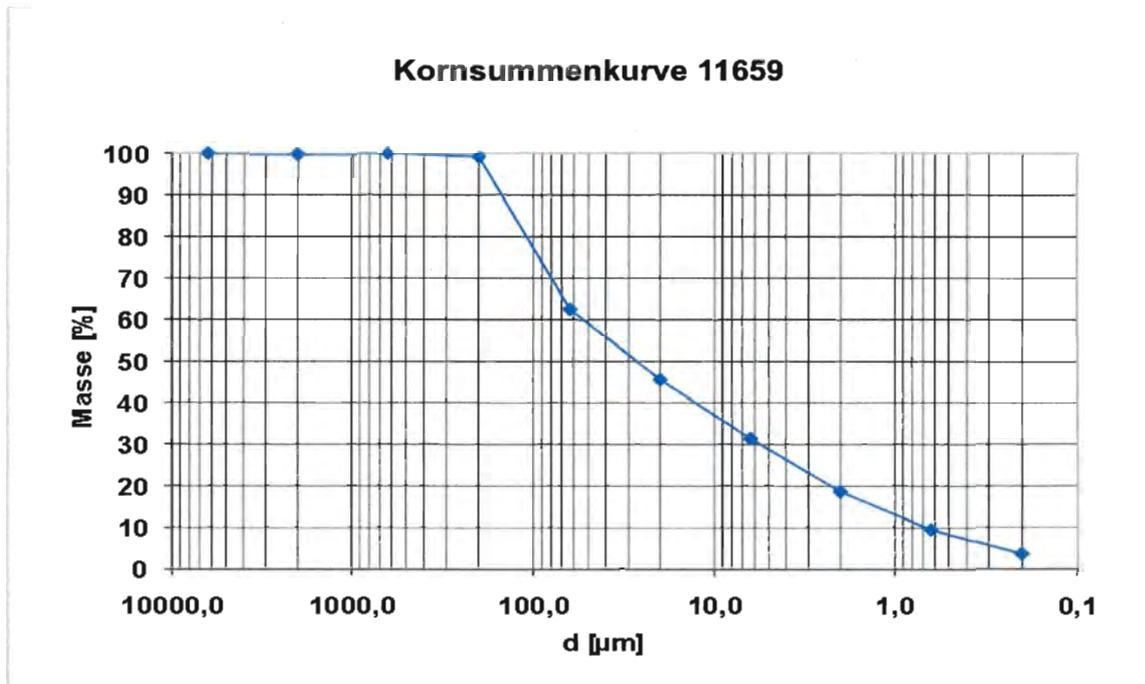


Abbildung 10-13: Kornsummenkurve 11659

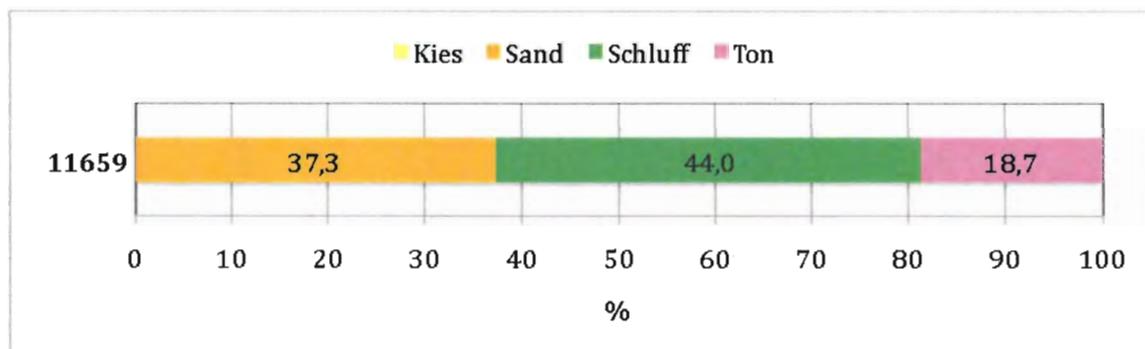


Abbildung 10-14: Kornverteilung 11659

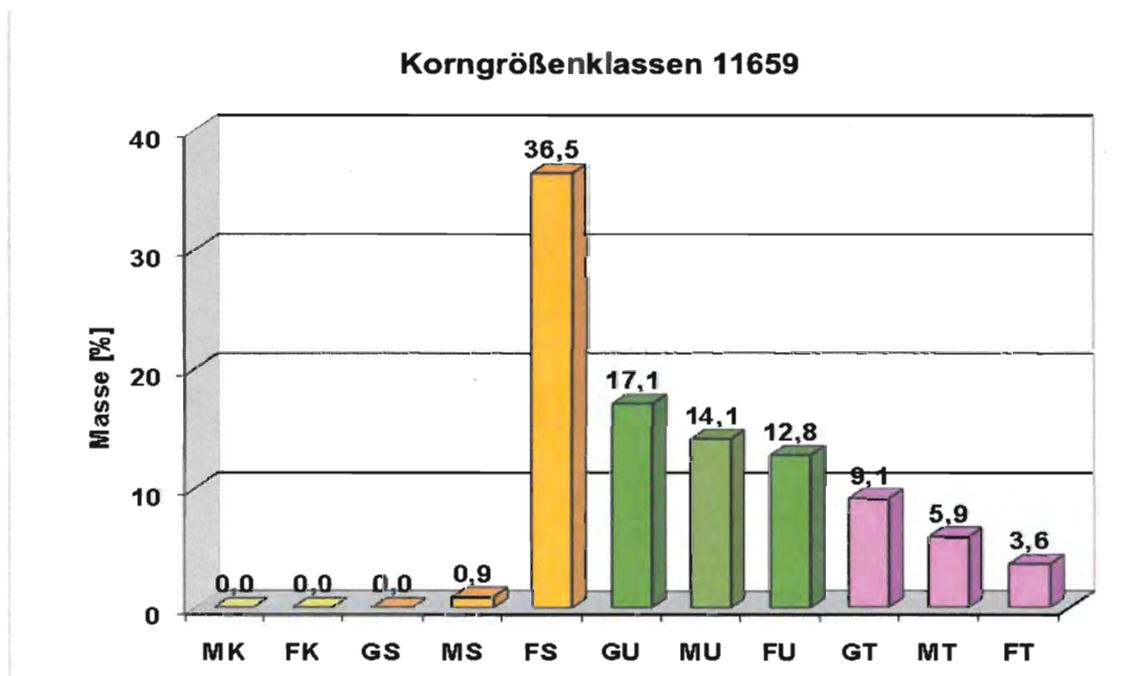


Abbildung 10-15: Korngrößenklassen 11659

Steinbruch: **Urgesteinsmehl Ikosan im Plastiksack**
Verkaufsstelle

IAG-Labor Nr.: 11660

Mineralogie:

Hauptbestandteile: Kalzit
Nebenbestandteile: -
in Spuren vorhanden: Glimmer, Quarz, Kalifeldspat
Kalzitgehalt: 97 %
Dolomitgehalt: - %

Messwerte:

pH-Wert: 8,4
elektr. Leitfähigkeit: 121 $\mu\text{S}/\text{cm}$



Abbildung 10-16: Steinmehl 11660

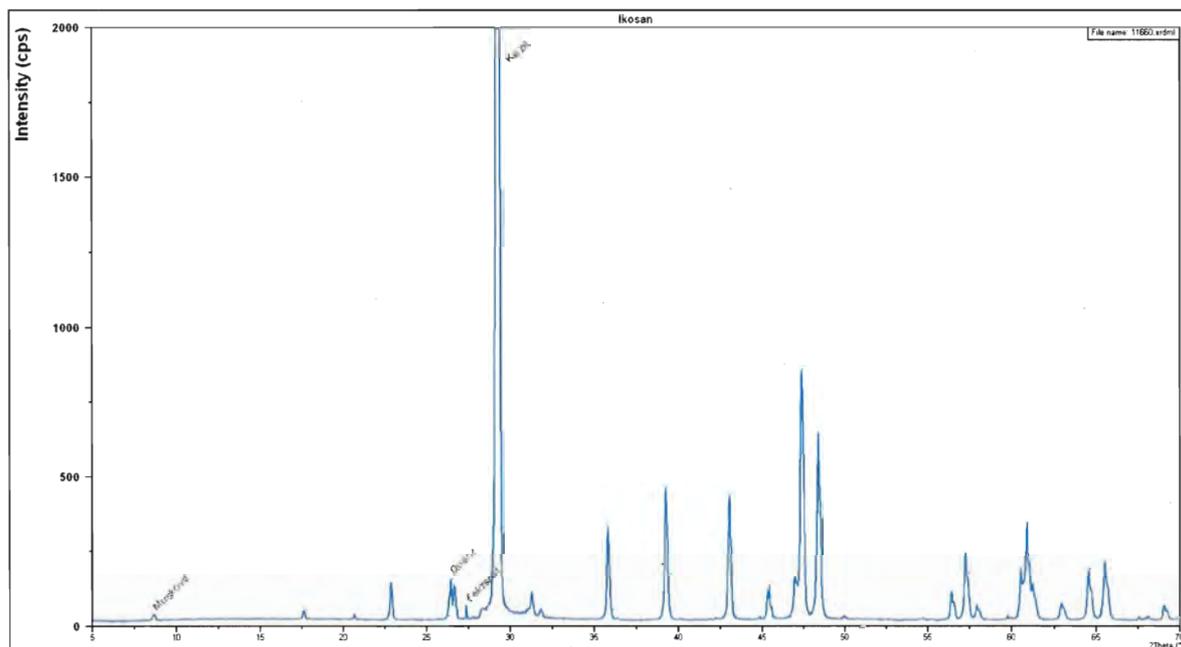


Abbildung 10-17: Röntgendiffraktogramm 11660

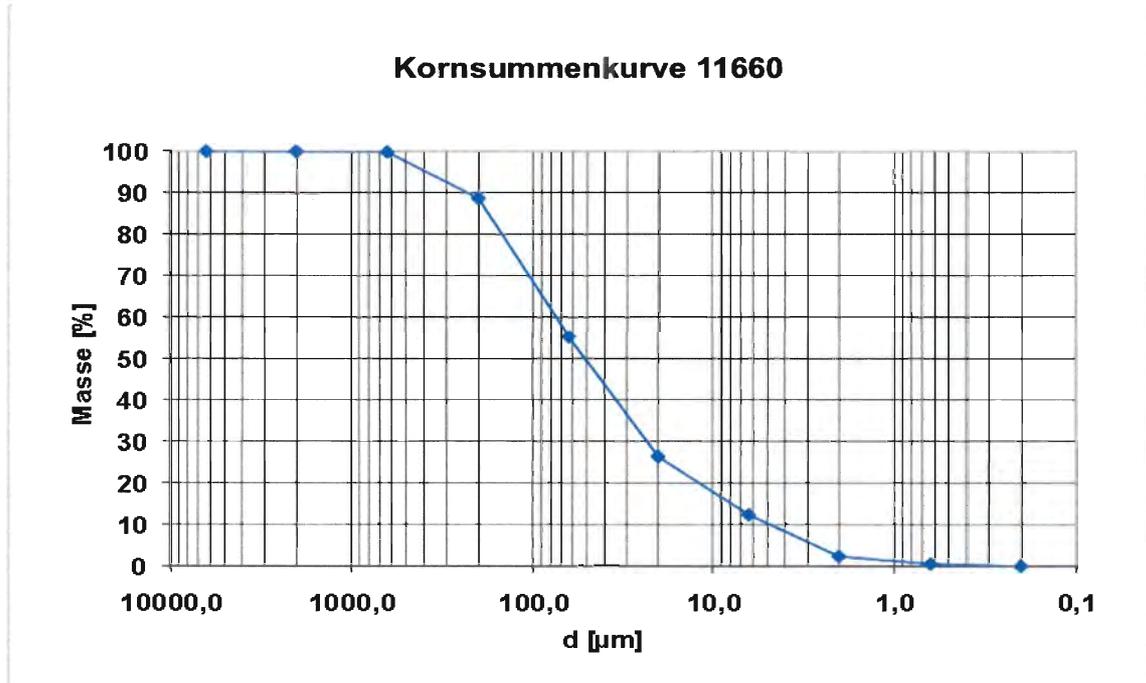


Abbildung 10-18: Kornsummenkurve 11660

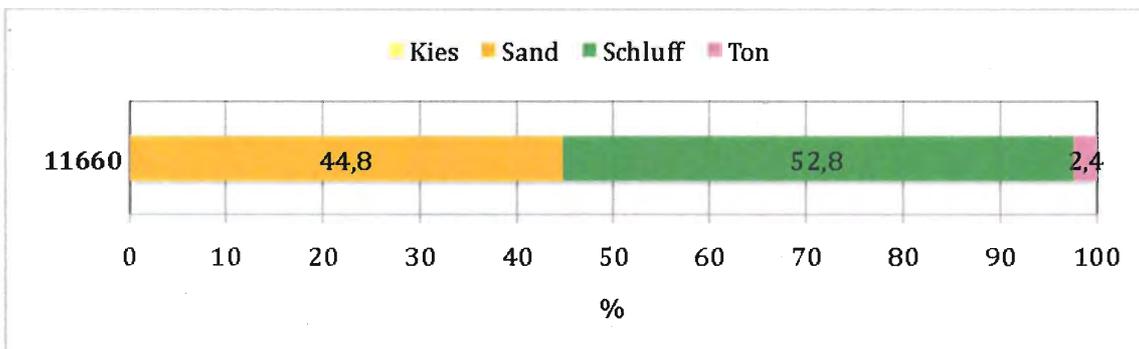


Abbildung 10-19: Kornverteilung 11660

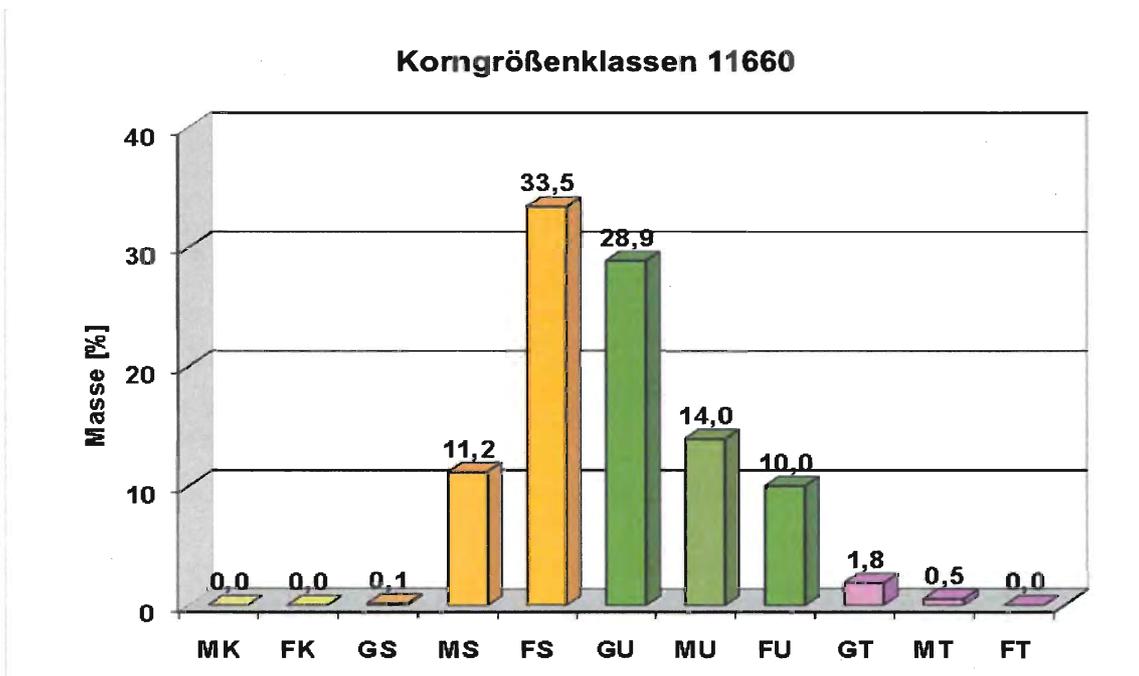


Abbildung 10-20: Korngrößenklassen 11660

Steinbruch: Dolomit Eberstein Neuper GmbH

Klagenfurter Straße 1
9372 Eberstein
Kärnten
www.dolomit.at
IAG-Labor Nr.: 11661

Mineralogie:

Hauptbestandteile: Dolomit
Nebenbestandteile: Kalzit
in Spuren vorhanden: Chlorit, Plagioklase
Kalzitgehalt: 8 %
Dolomitgehalt: 89 %

Messwerte:

pH-Wert: 8,3
elektr. Leitfähigkeit: 162 $\mu\text{S/cm}$



Abbildung 10-21: Steinmehl 11661

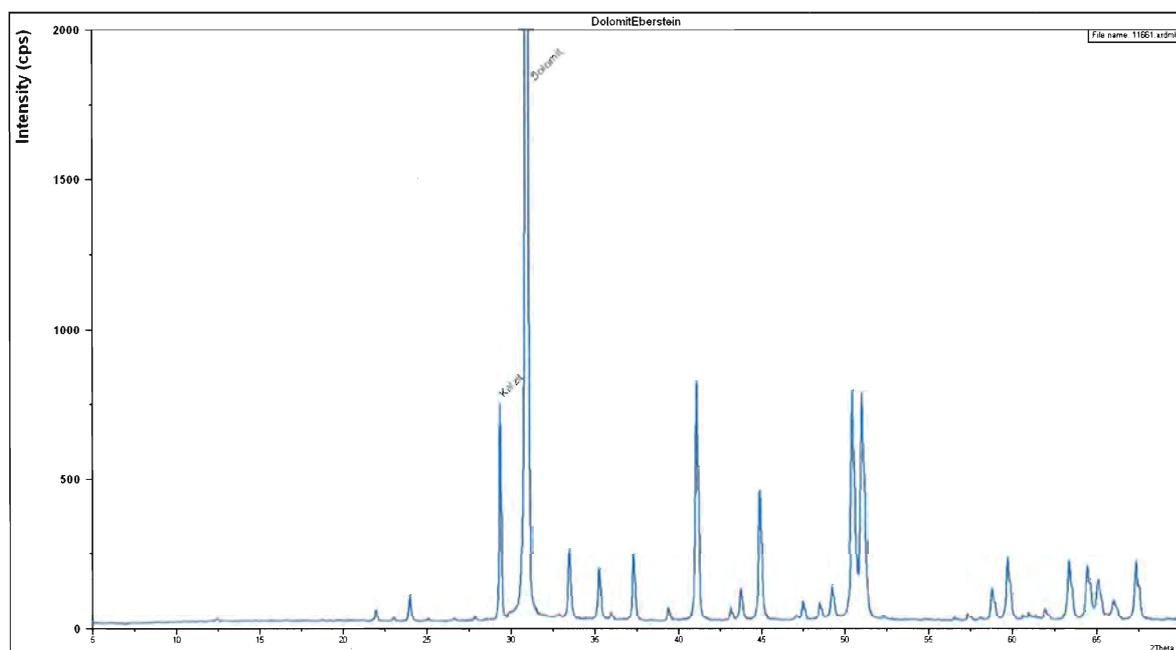


Abbildung 10-22: Röntgendiffraktogramm 11661

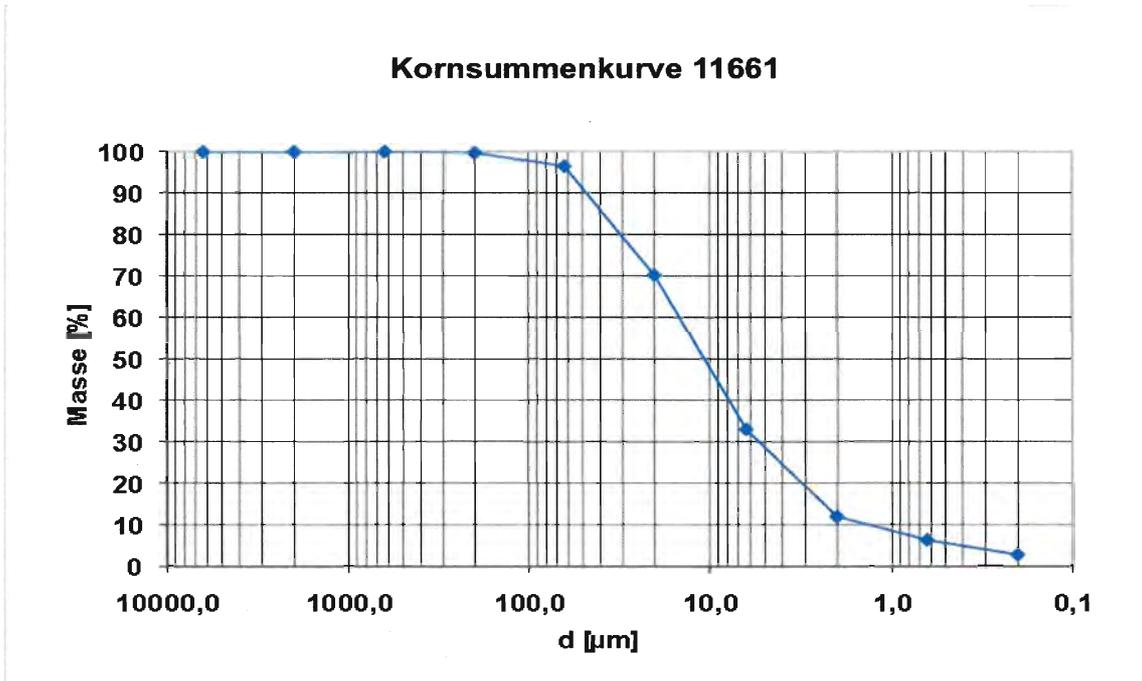


Abbildung 10-23: Kornsummenkurve 11661

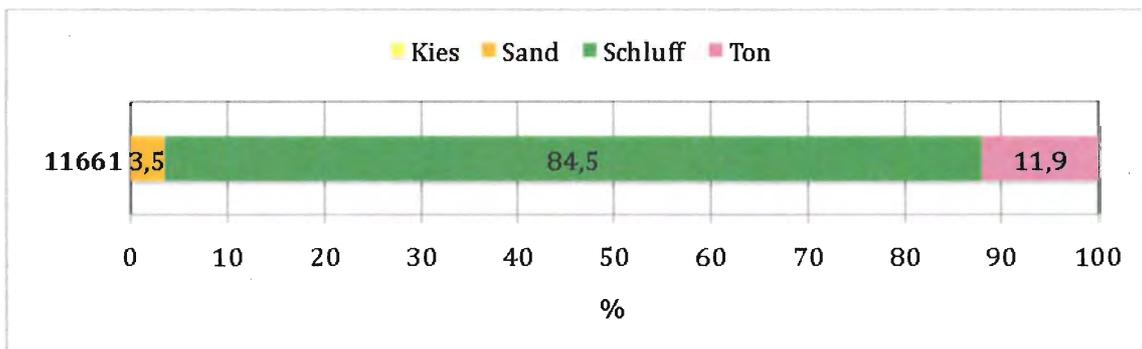


Abbildung 10-24: Kornverteilung 11661

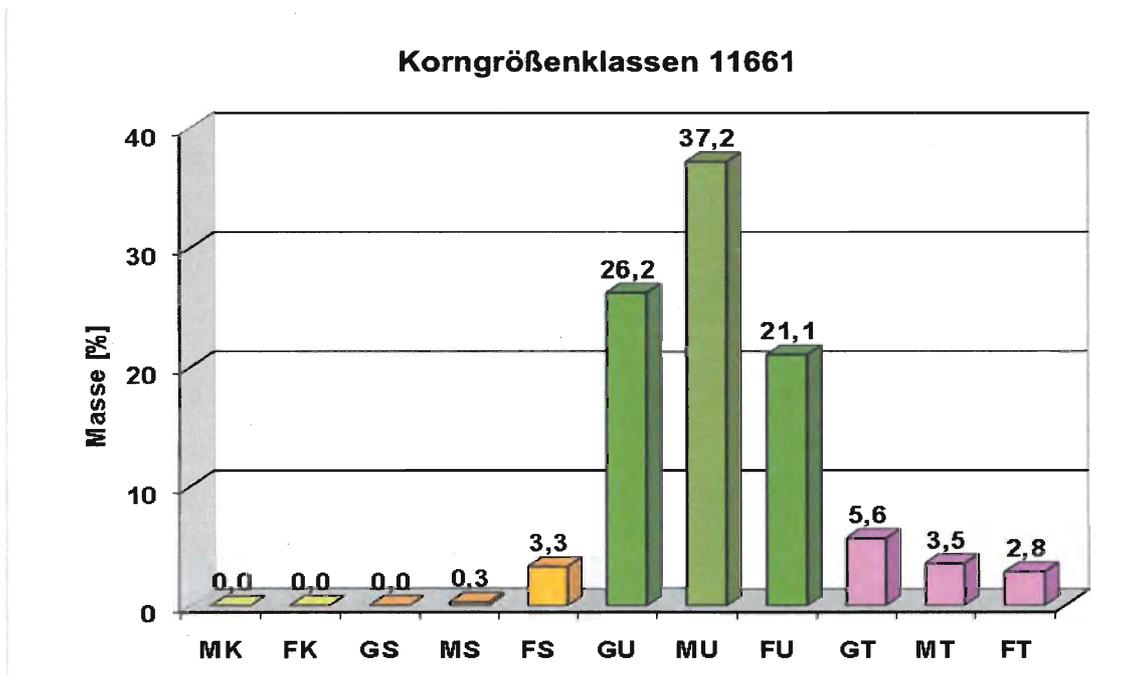


Abbildung 10-25: Korngrößenklassen 11661

Steinbruch: **Sölker Marmor Gesellschaft m.b.H.**
Reith 279
8961 Kleinsölk
Steiermark
www.soelker.at
IAG-Labor Nr.: 11695

Mineralogie:
Hauptbestandteile: Kalzit
Nebenbestandteile: -
in Spuren vorhanden: Glimmer, Quarz, Dolomit
Kalzitgehalt: 94 %
Dolomitgehalt: 1 %

Messwerte:
pH-Wert: 8,2
elektr. Leitfähigkeit: 118 $\mu\text{S}/\text{cm}$



Abbildung 10-26: Steinmehl 11695

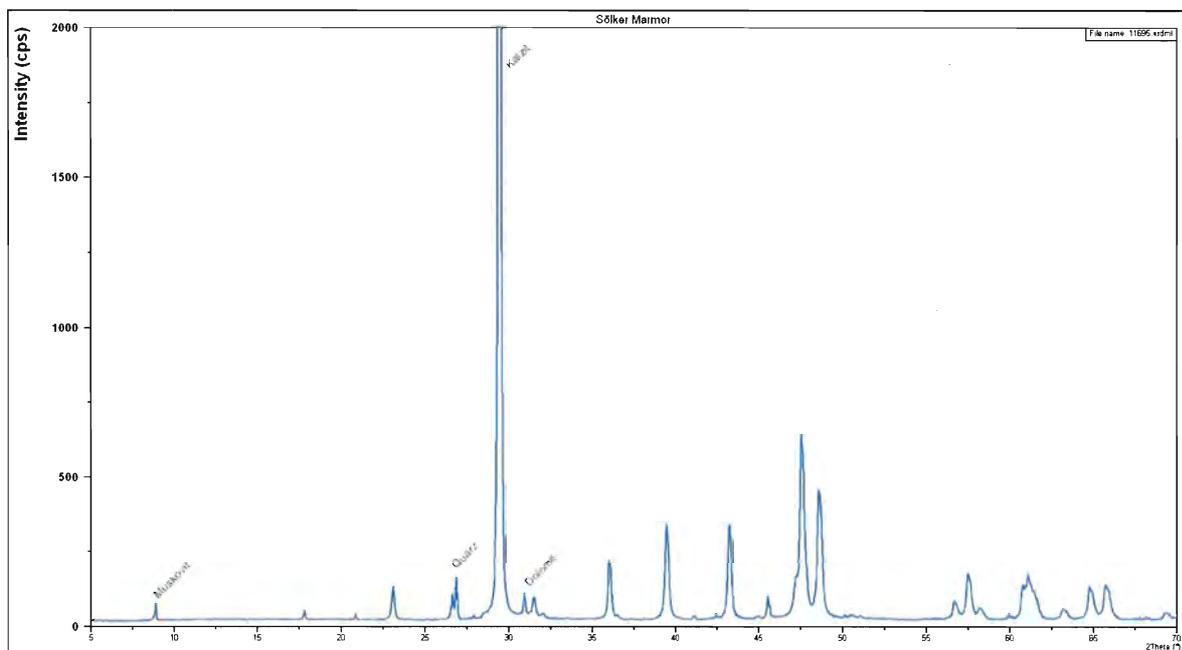


Abbildung 10-27: Röntgendiffraktogramm 11695

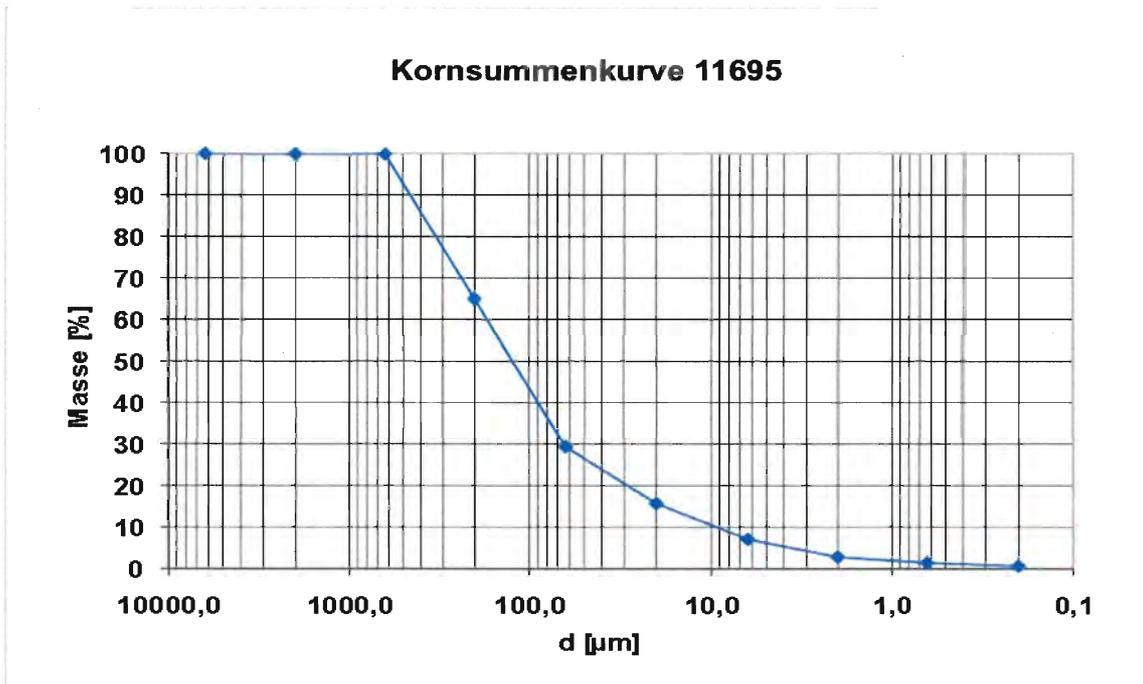


Abbildung 10-28: Kornsummenkurve 11695

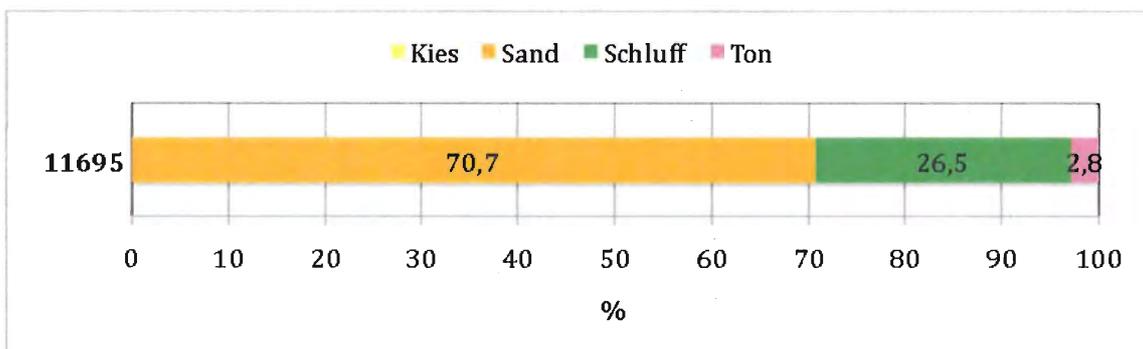


Abbildung 10-29: Kornverteilung 11695

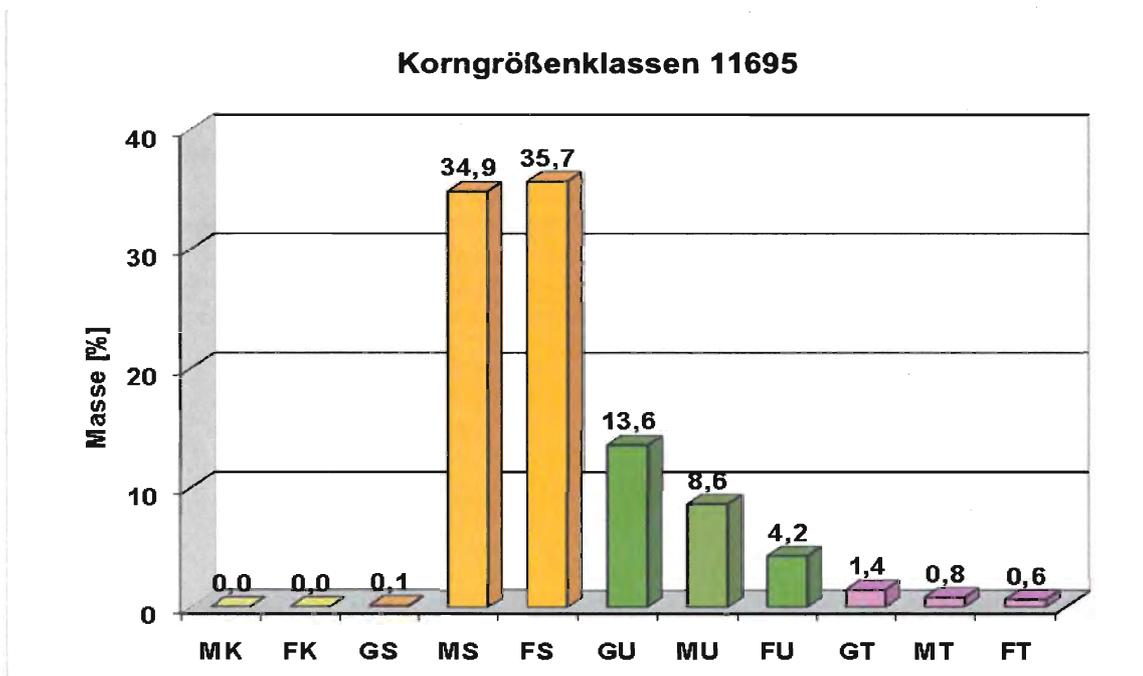


Abbildung 10-30: Korngrößenklassen 11695

Steinbruch: **Sölker Marmor Gesellschaft m.b.H.**
Reith 279
8961 Kleinsölk
Steiermark
www.soelker.at
IAG-Labor Nr.: 11696

Mineralogie:
Hauptbestandteile: Kalzit
Nebenbestandteile: -
in Spuren vorhanden: Glimmer, Quarz, Dolomit
Kalzitgehalt: 95 %
Dolomitgehalt: . %

Messwerte:
pH-Wert: 8,5
elektr. Leitfähigkeit: 122 $\mu\text{S}/\text{cm}$



Abbildung 10-31: Steinmehl 11696

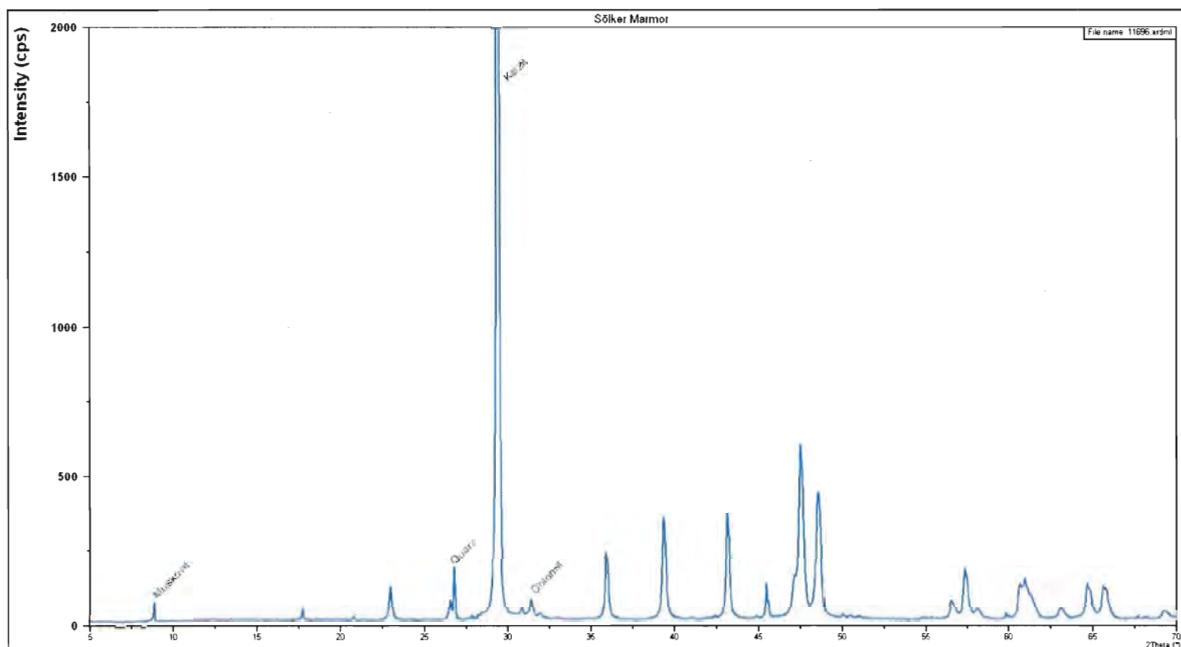


Abbildung 10-32: Röntgendiffraktogramm 11696

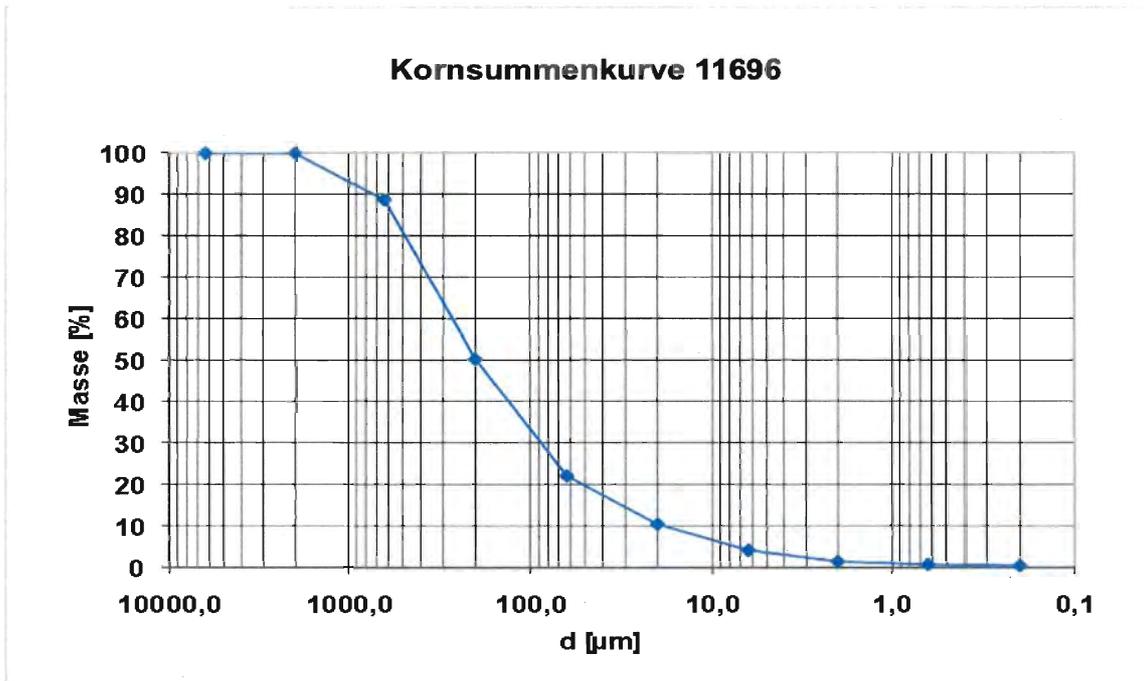


Abbildung 10-33: Kornsummenkurve 11696

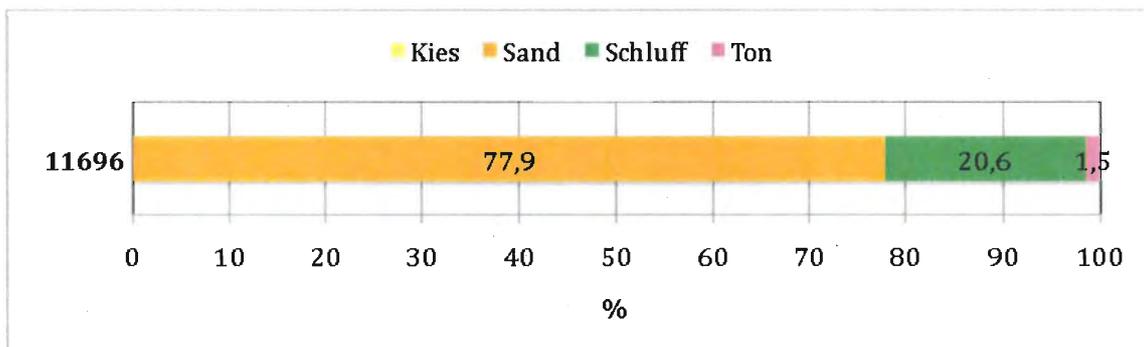


Abbildung 10-34: Kornverteilung 11696

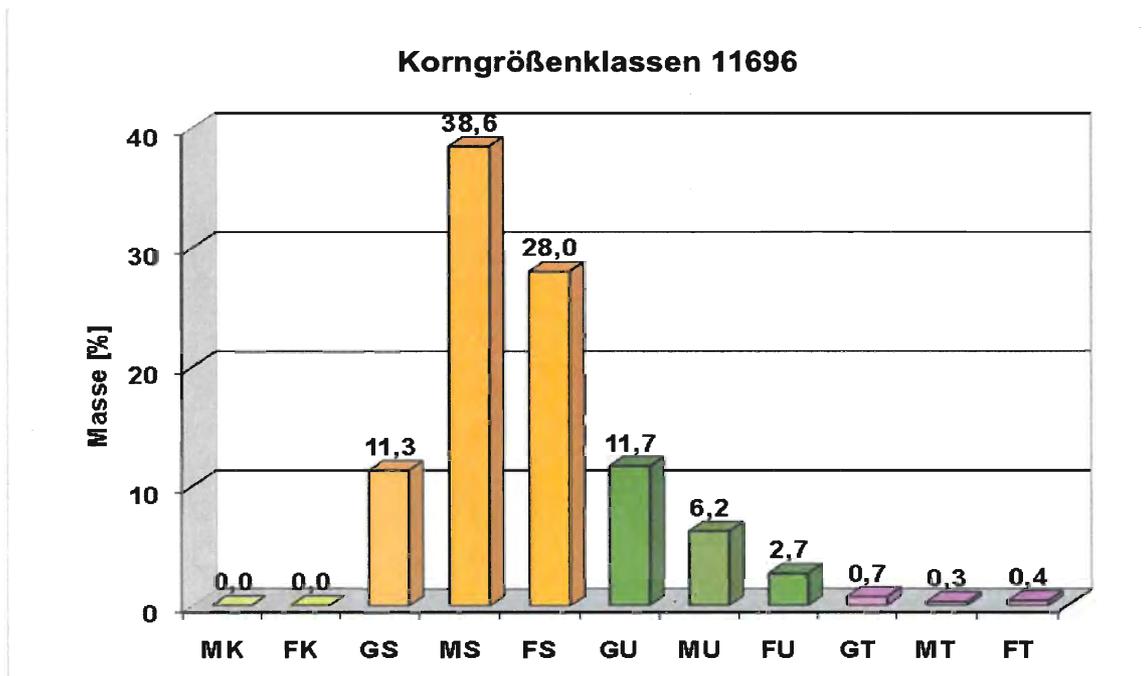


Abbildung 10-35: Korngrößenklassen 11696

Steinbruch: Klöcher Basalt GmbH

Klöch 71
8493 Klöch
Steiermark

IAG-Labor Nr.: 11697

Mineralogie:

Hauptbestandteile: Pyroxene, Plagioklase

Nebenbestandteile: Olivin, Nepheline

in Spuren vorhanden: Glimmer, Magnetite

Kalzitgehalt: - %

Dolomitgehalt: - %

Messwerte:

pH-Wert: 8,3

elektr. Leitfähigkeit: 184 $\mu\text{S/cm}$



Abbildung 10-36: Steinmehl 11697

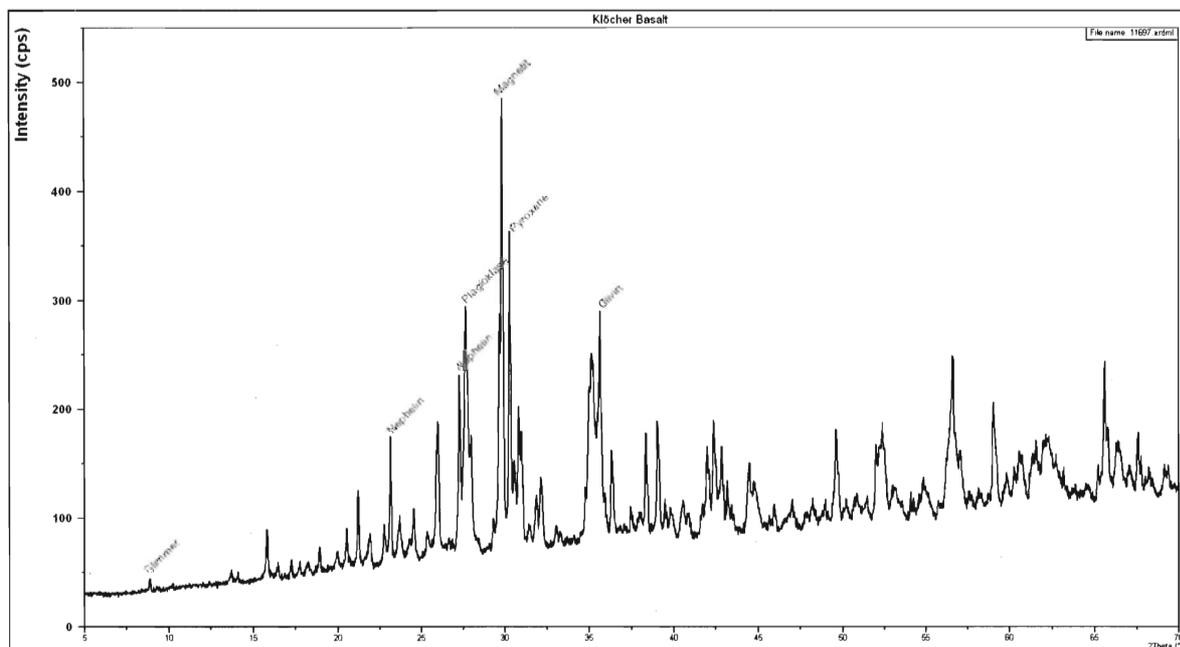


Abbildung 10-37: Röntgendiffraktogramm 11697

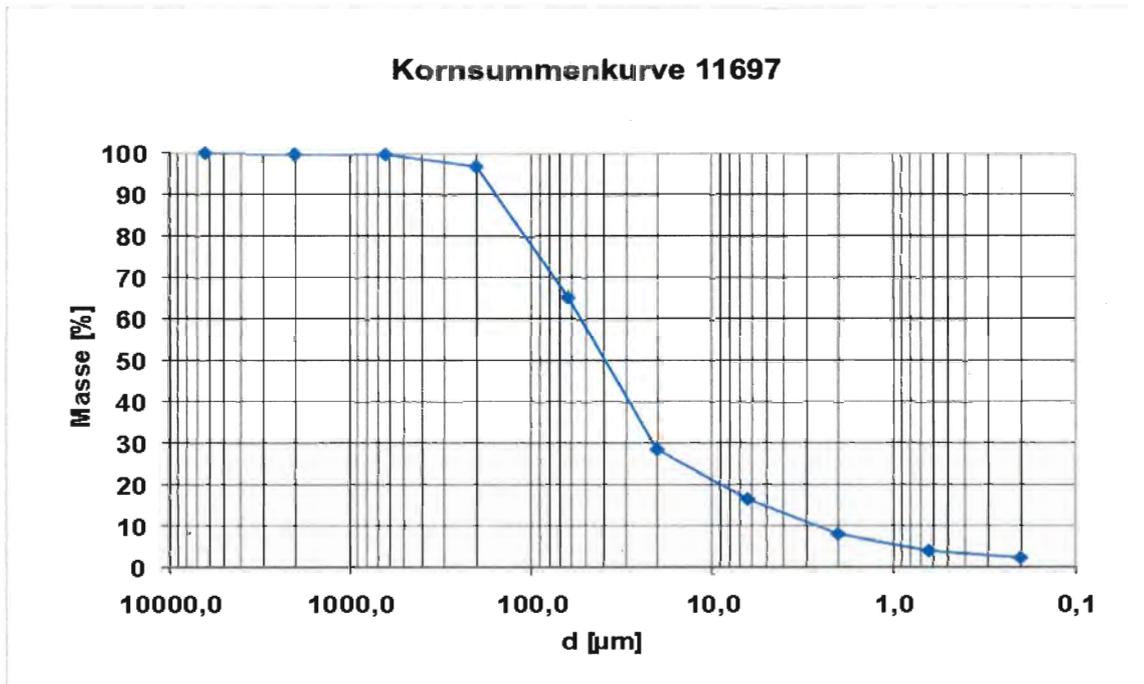


Abbildung 10-38: Kornsummenkurve 11697

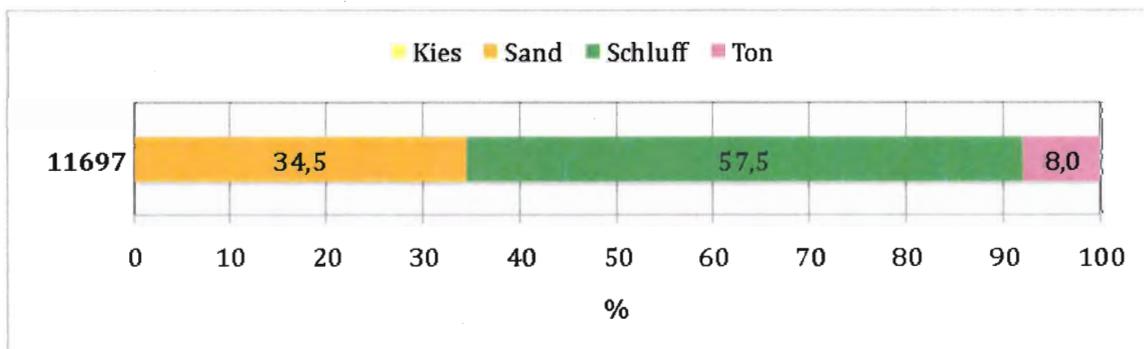


Abbildung 10-39: Kornverteilung 11697

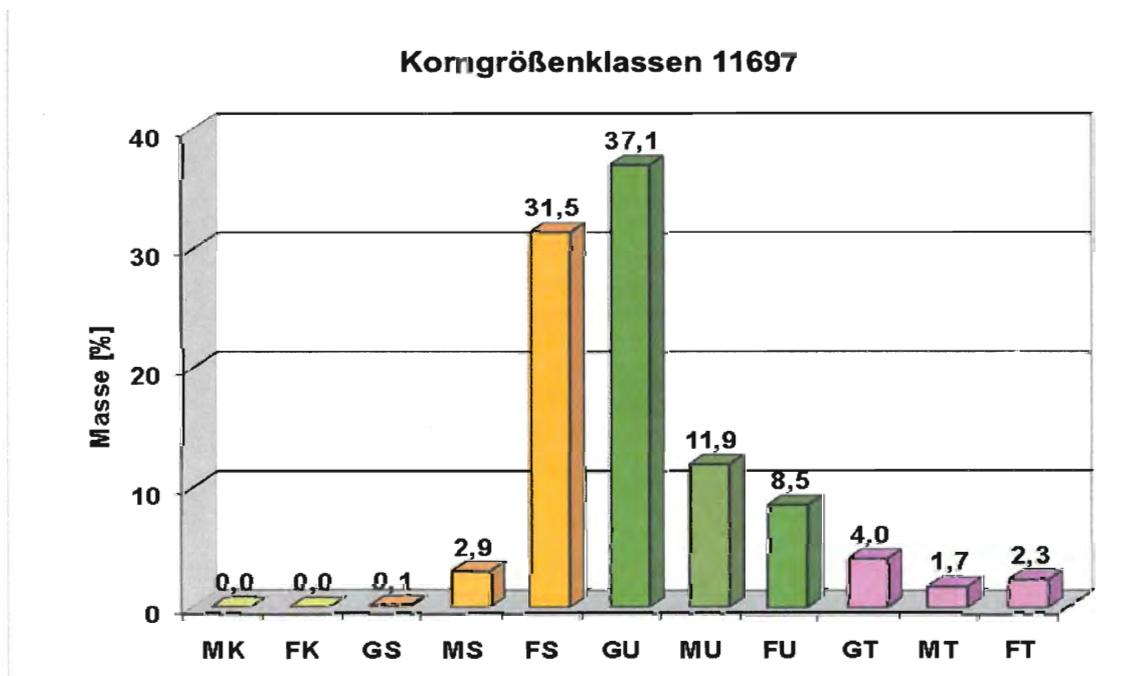


Abbildung 10-40: Korngrößenklassen 11697

Steinbruch: Iksan im Kartonbehälter
Verkaufsstelle

IAG-Labor Nr.: 11698

Mineralogie:

Hauptbestandteile: Kalzit
Nebenbestandteile: -
in Spuren vorhanden: Glimmer
Kalzitgehalt: 99 %
Dolomitgehalt: - %

Messwerte:

pH-Wert: 8,2
elektr. Leitfähigkeit: 140 $\mu\text{S}/\text{cm}$



Abbildung 10-41: Steinmehl 11698

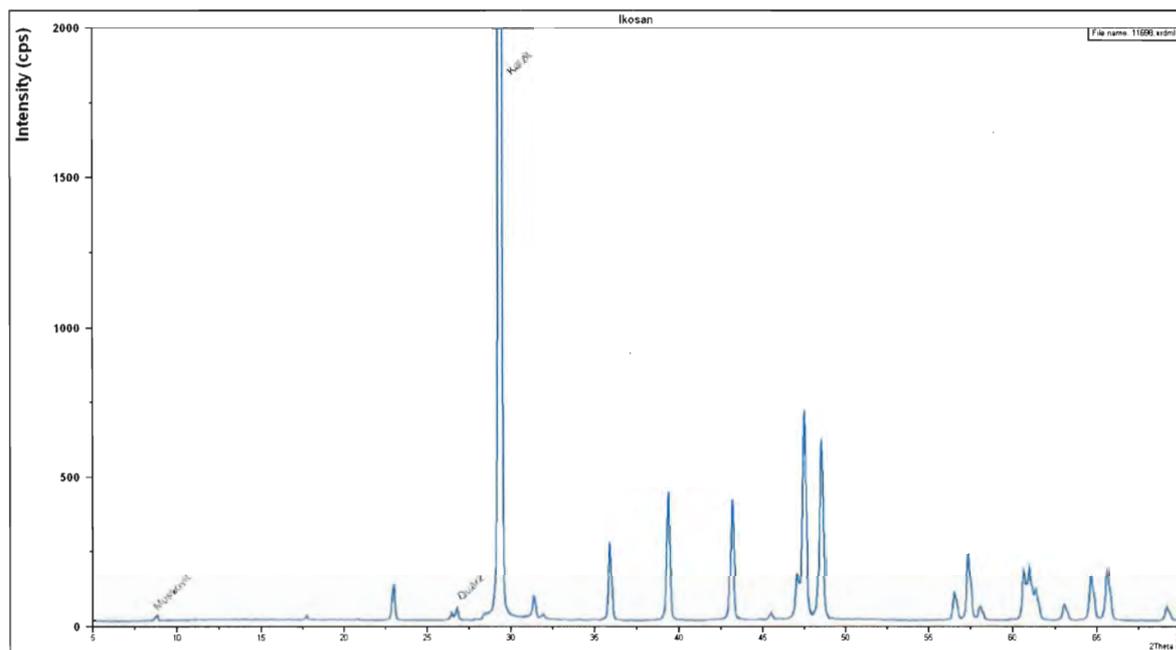


Abbildung 10-42: Röntgendiffraktogramm 11698

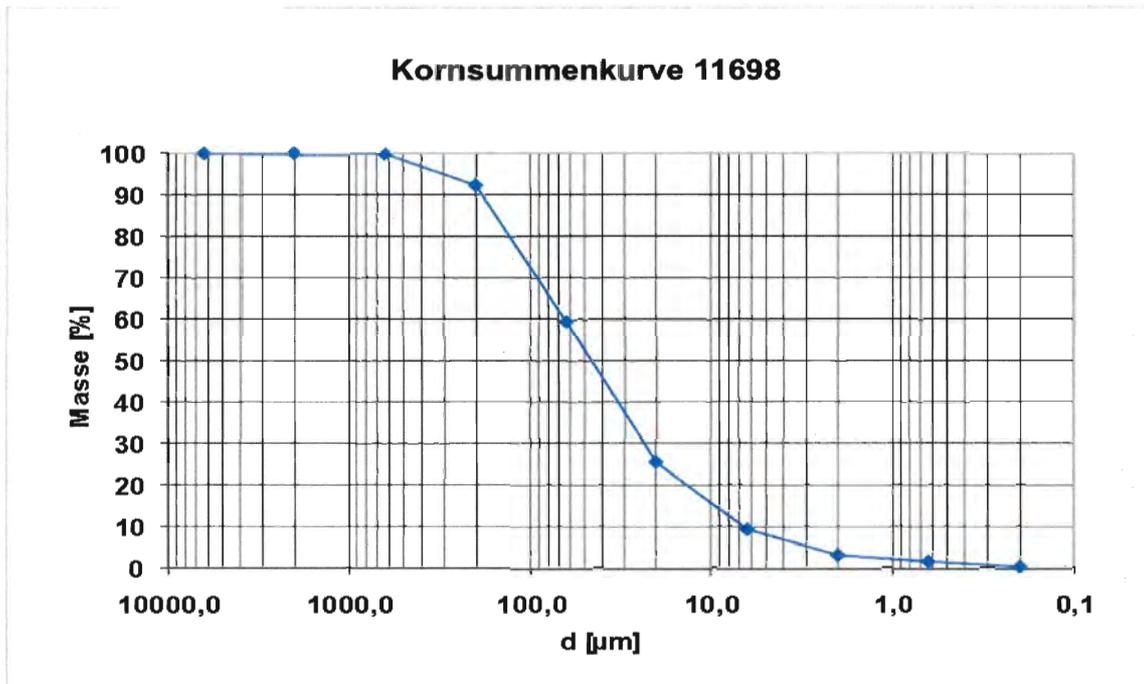


Abbildung 10-43: Kornsummenkurve 11698

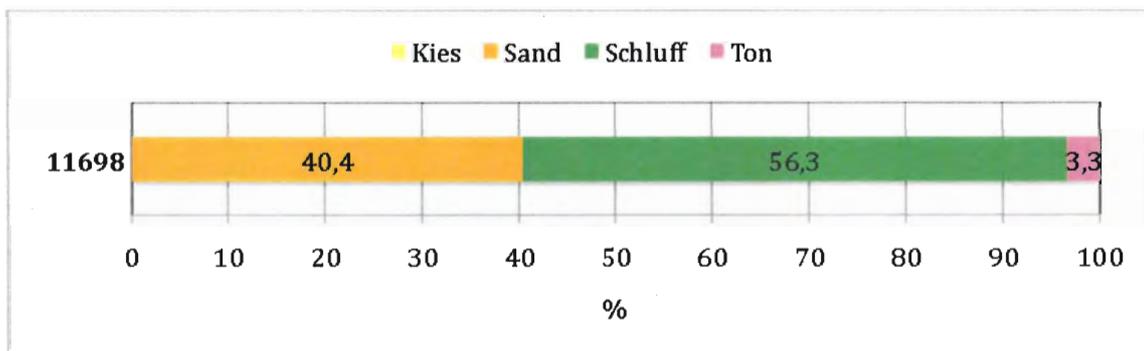


Abbildung 10-44: Kornverteilung 11698

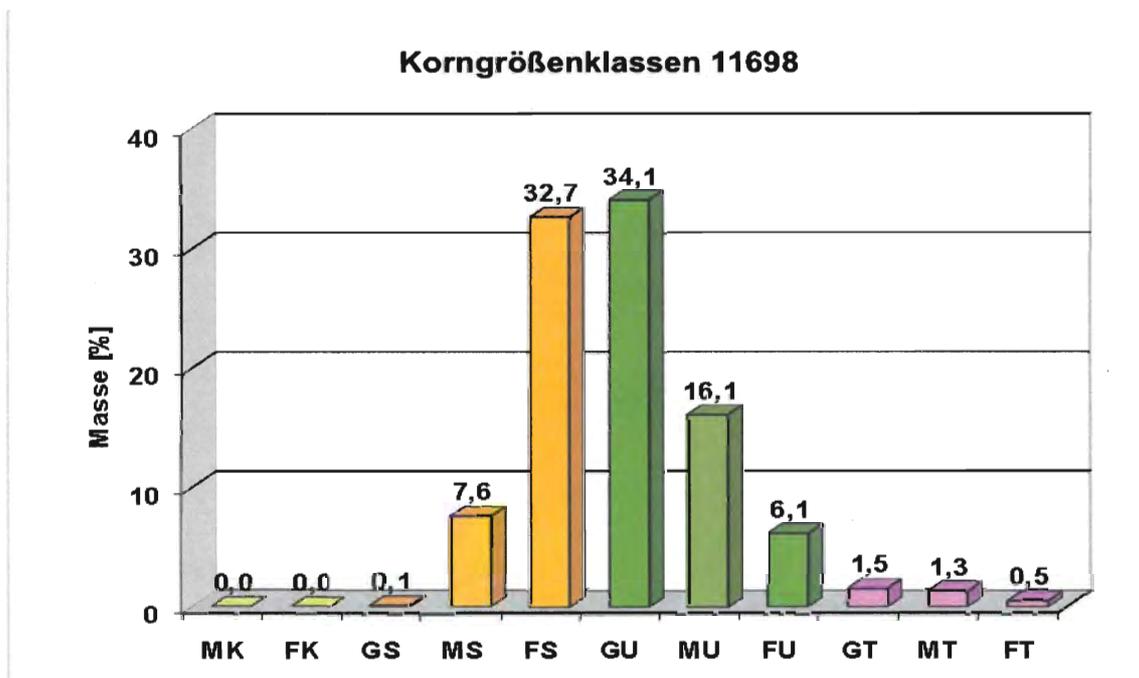


Abbildung 10-45: Korngrößenklassen 11698

Steinbruch:

Josef Kogler Natursteinbruch G.m.b.H.

Steinweg 2
9554 St. Urban
Kärnten
www.kogler-natursteinwerk.at
IAG-Labor Nr.: 11699

Mineralogie:

Hauptbestandteile: Chlorit, Glimmer, Plagioklase

Nebenbestandteile: Amphibolit, Quarz

in Spuren vorhanden: -

Kalzitgehalt: - %

Dolomitgehalt: - %

Messwerte:

pH-Wert: 8,1

elektr. Leitfähigkeit: 140 $\mu\text{S}/\text{cm}$



Abbildung 10-46: Steinmehl 11699

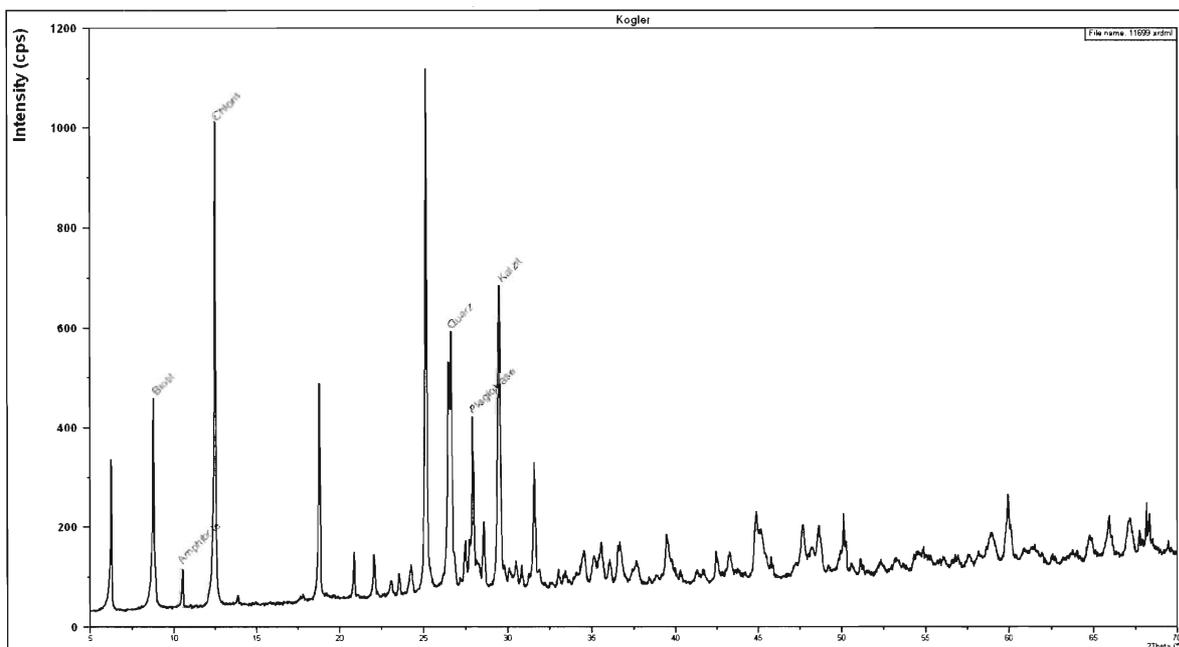


Abbildung 10-47: Röntgendiffraktogramm 11699

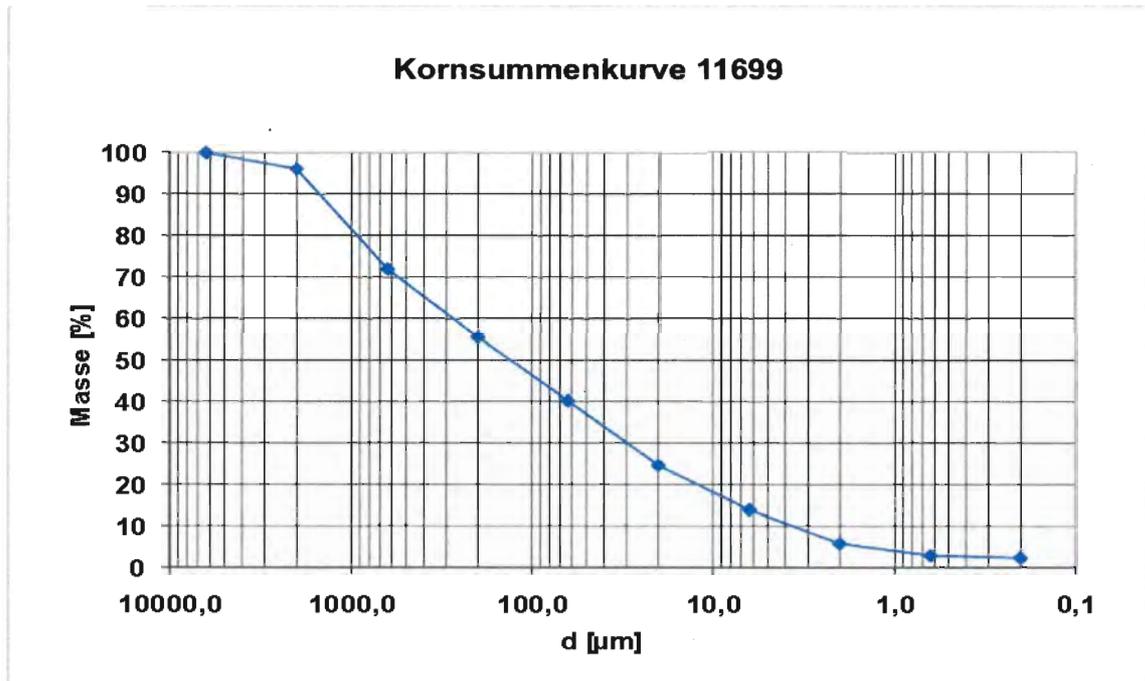


Abbildung 10-48: Kornsummenkurve 11699

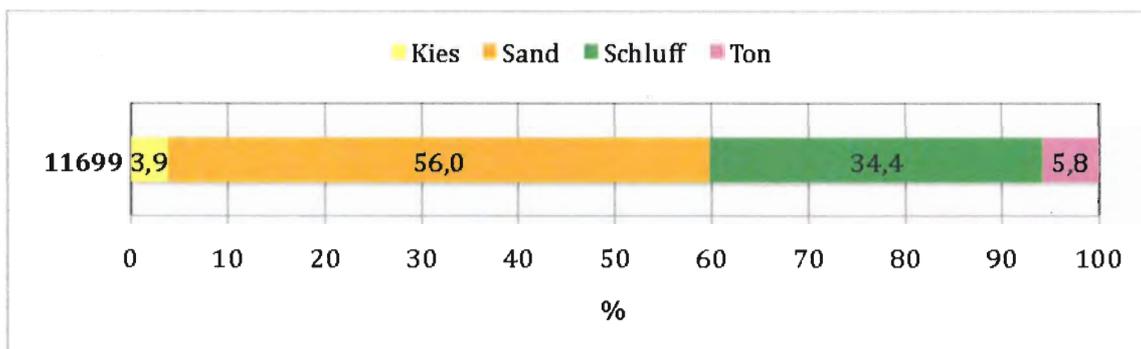


Abbildung 10-49: Kornverteilung 11699

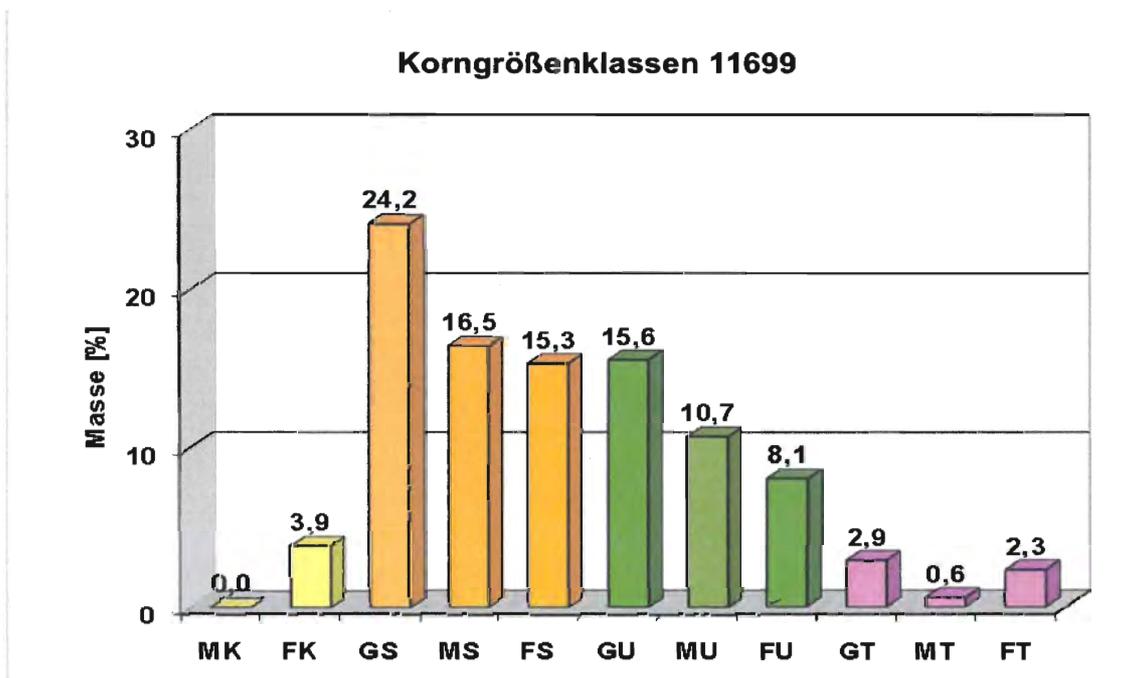


Abbildung 10-50: Korngrößenklassen 11699

Steinbruch:

Rhomberg Steinbruch Gesellschaft m.b.H.

Mariahilfstraße 29
6900 Bregenz
Vorarlberg
www.rhombergbau.at
IAG-Labor Nr.: 11710

Mineralogie:

Hauptbestandteile: Kalzit
Nebenbestandteile: Dolomit, Quarz
in Spuren vorhanden: Glimmer, Chlorit
Kalzitgehalt: 70 %
Dolomitgehalt: 10 %

Messwerte:

pH-Wert: 8,1
elektr. Leitfähigkeit: 157 $\mu\text{S/cm}$



Abbildung 10-51: Steinmehl 11710

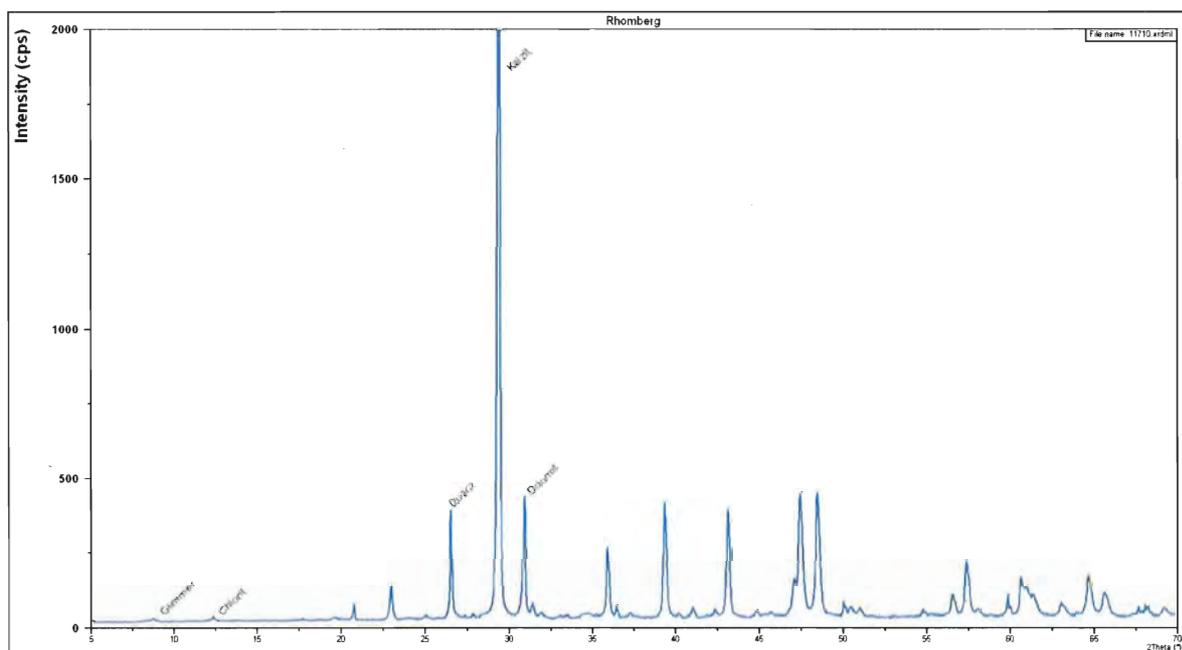


Abbildung 10-52: Röntgendiffraktogramm 11710

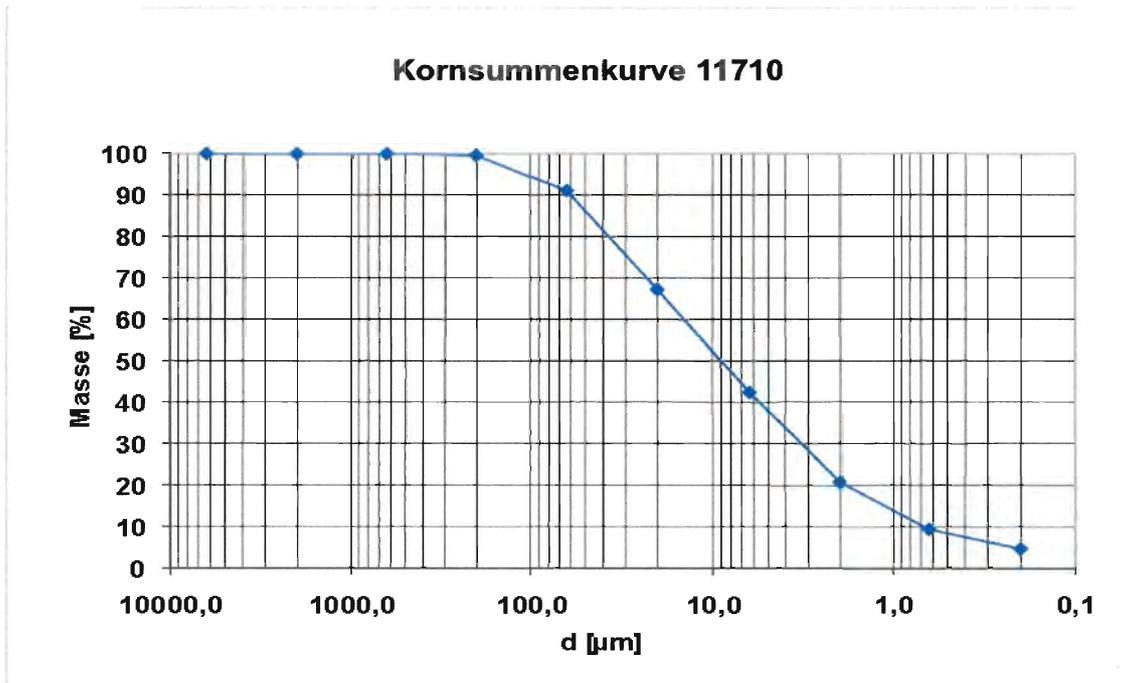


Abbildung 10-53: Kornsummenkurve 11710

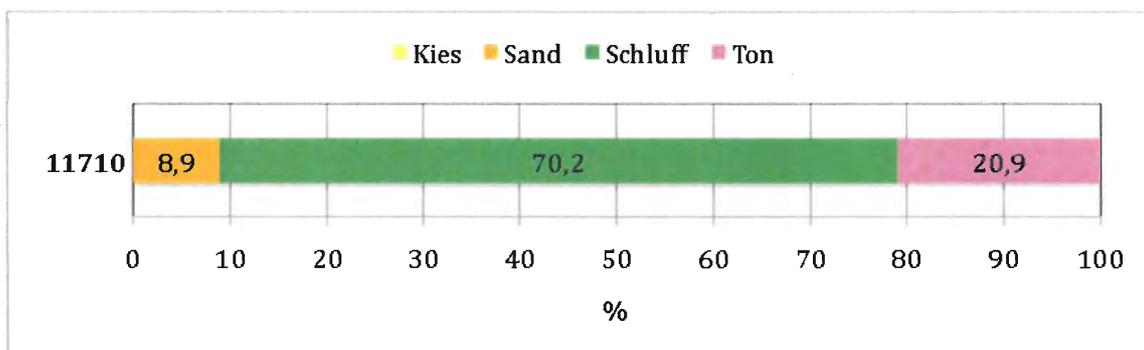


Abbildung 10-54: Kornverteilung 11710

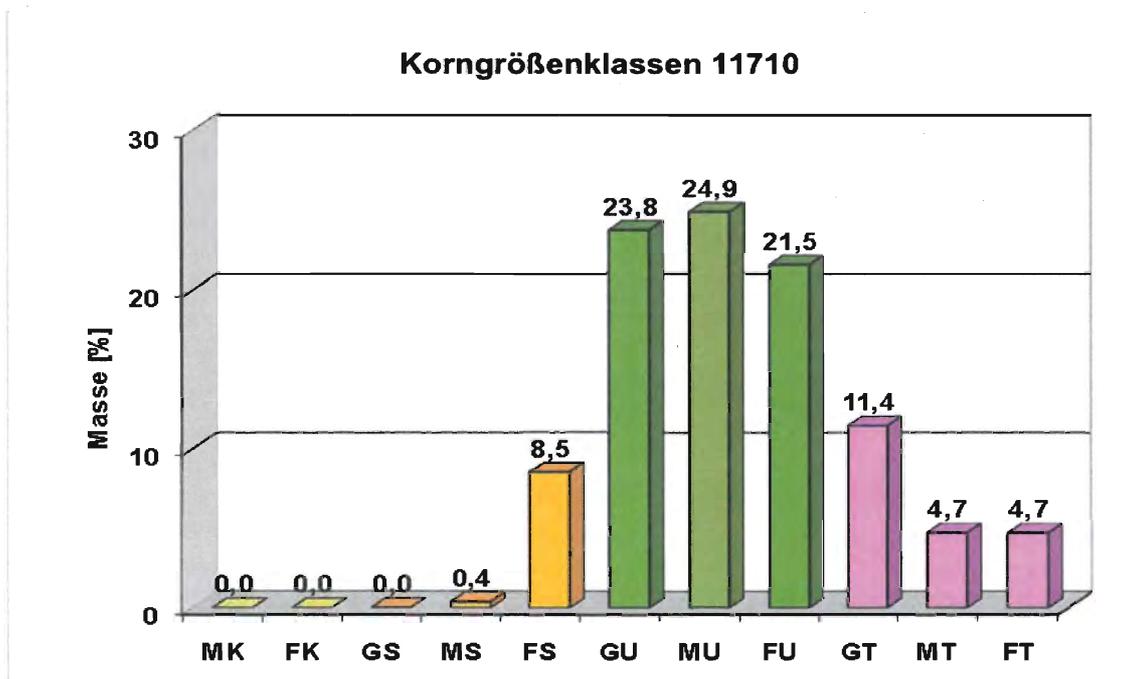


Abbildung 10-55: Korngrößenklassen 11710

Steinbruch: Marko Gesellschaft m.b.H. & Co. KG.

In der Weiz 133
8160 Naas
Steiermark
www.marko-weiz.at
IAG-Labor Nr.: 11711

Mineralogie:

Hauptbestandteile: Kalzit
Nebenbestandteile: Glimmer
in Spuren vorhanden: Chlorit, Quarz, Plagioklase, Dolomit
Kalzitgehalt: 84 %
Dolomitgehalt: 1 %

Messwerte:

pH-Wert: 9,7
elektr. Leitfähigkeit: 119 $\mu\text{S/cm}$



Abbildung 10-56: Steinmehl 11711

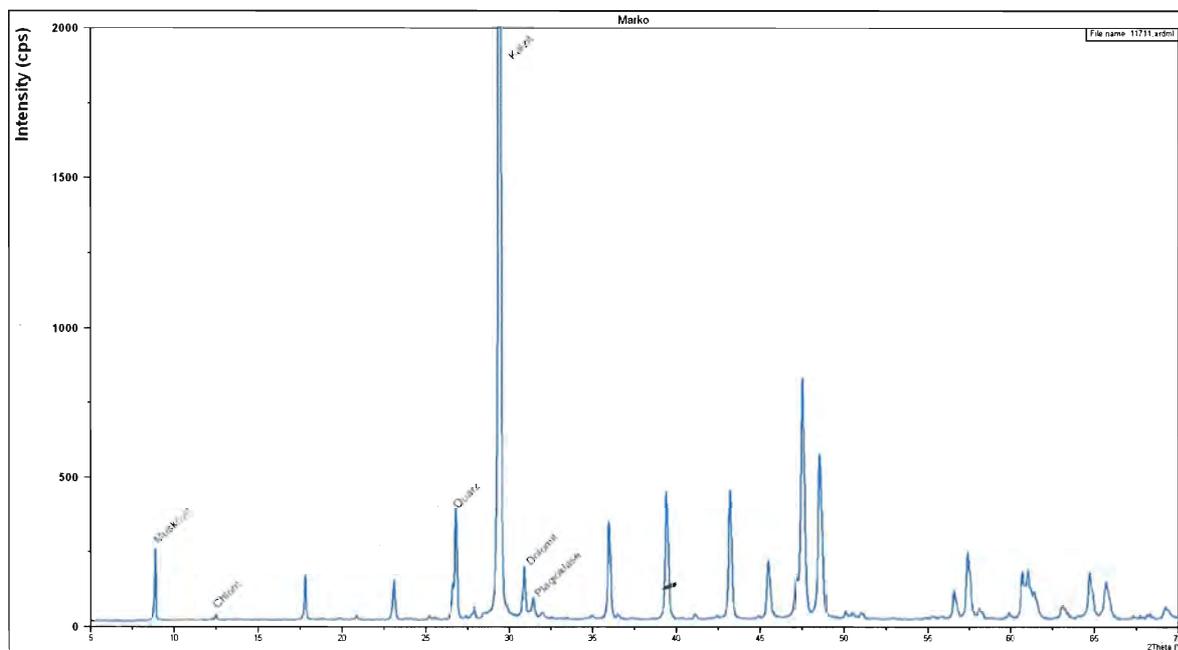


Abbildung 10-57: Röntgendiffraktogramm 11711

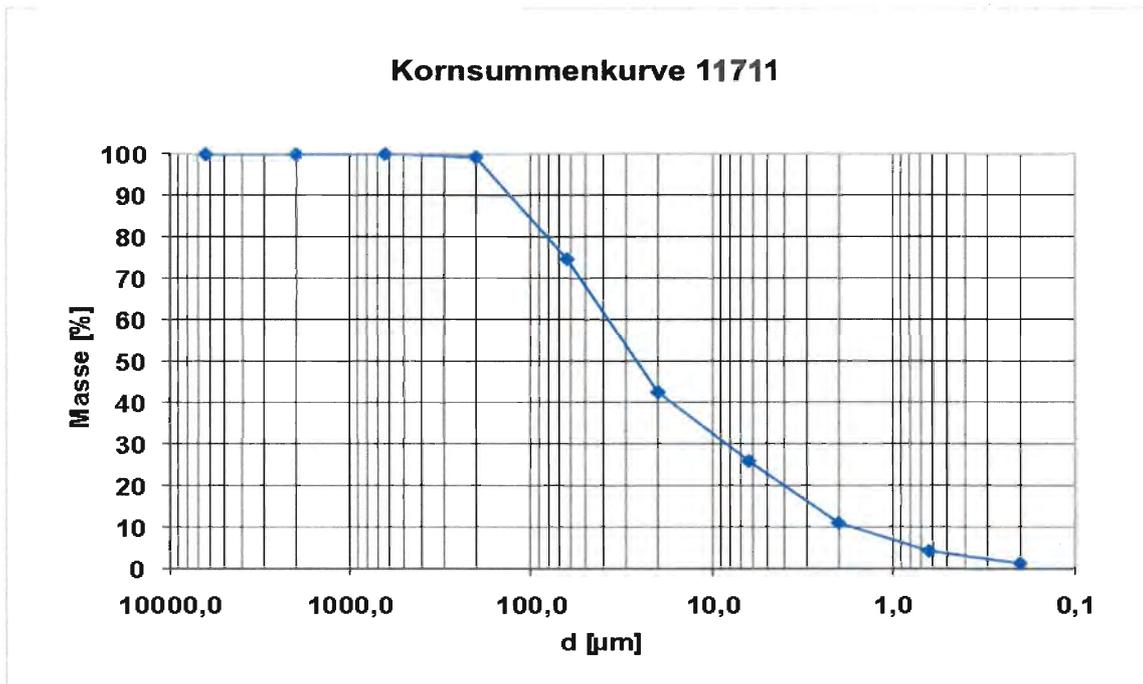


Abbildung 10-58: Kornsummenkurve 11711

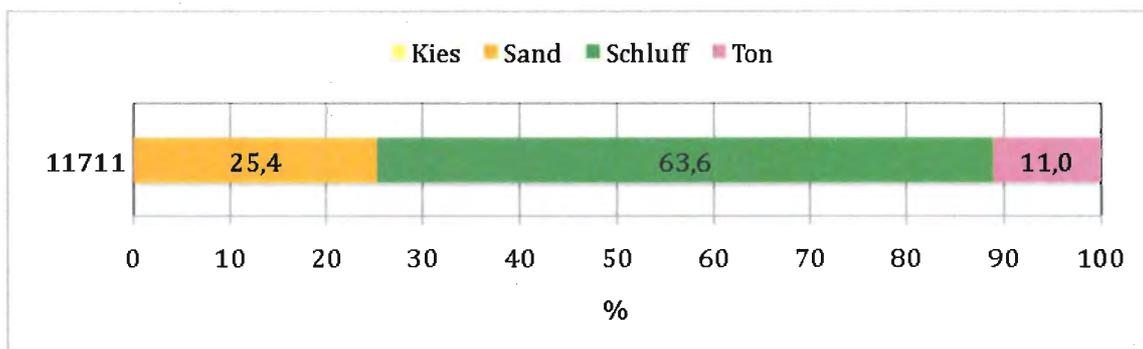


Abbildung 10-59: Kornverteilung 11711

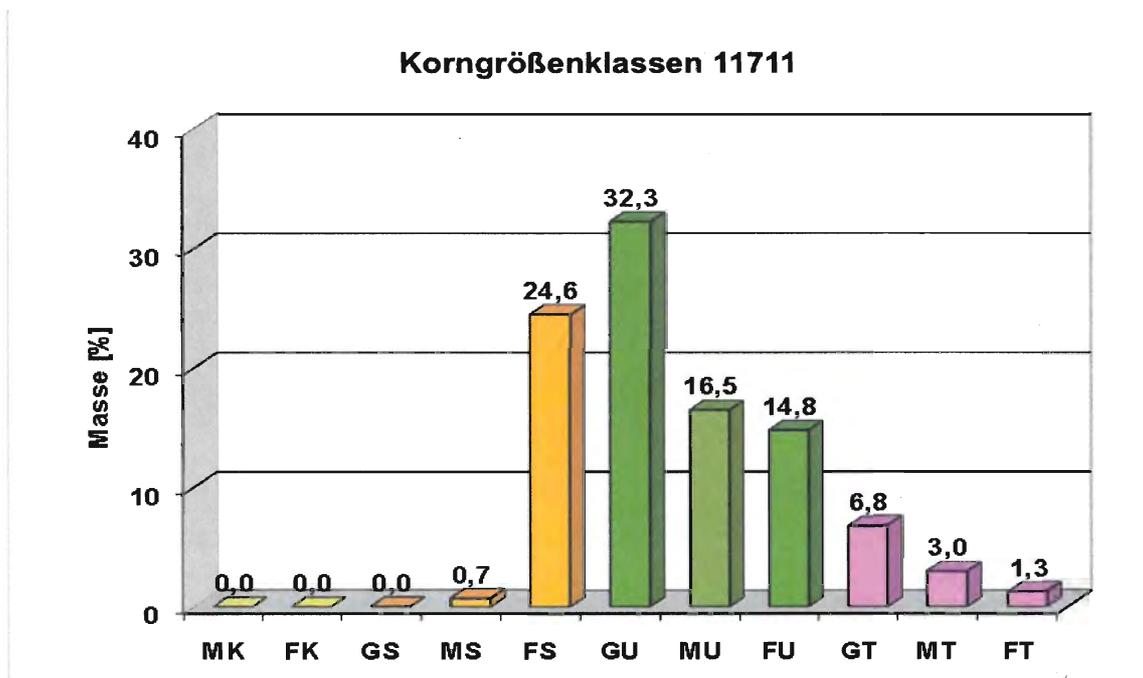


Abbildung 10-60: Korngrößenklassen 11711

Steinbruch:

Renz Markus

Lichtenau 114
3613 Marbach an der Kleinen Krems
Niederösterreich
www.schotter-renz.at
IAG-Labor Nr.: 11712

Mineralogie:

Hauptbestandteile: Kalzit
Nebenbestandteile: Glimmer
in Spuren vorhanden: Amphibolit, Quarz, Plagioklase
Kalzitgehalt: 96 %
Dolomitgehalt: - %

Messwerte:

pH-Wert: 8,1
elektr. Leitfähigkeit: 113 $\mu\text{S}/\text{cm}$



Abbildung 10-61: Steinmehl 11712

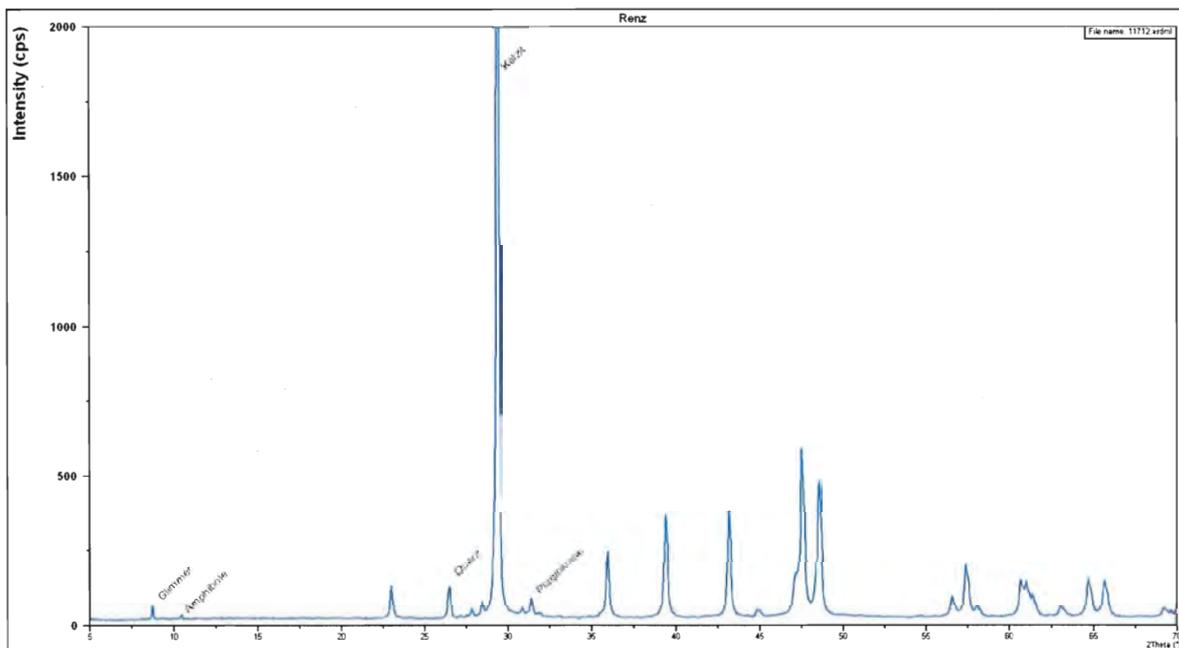


Abbildung 10-62: Röntgendiffraktogramm 11712

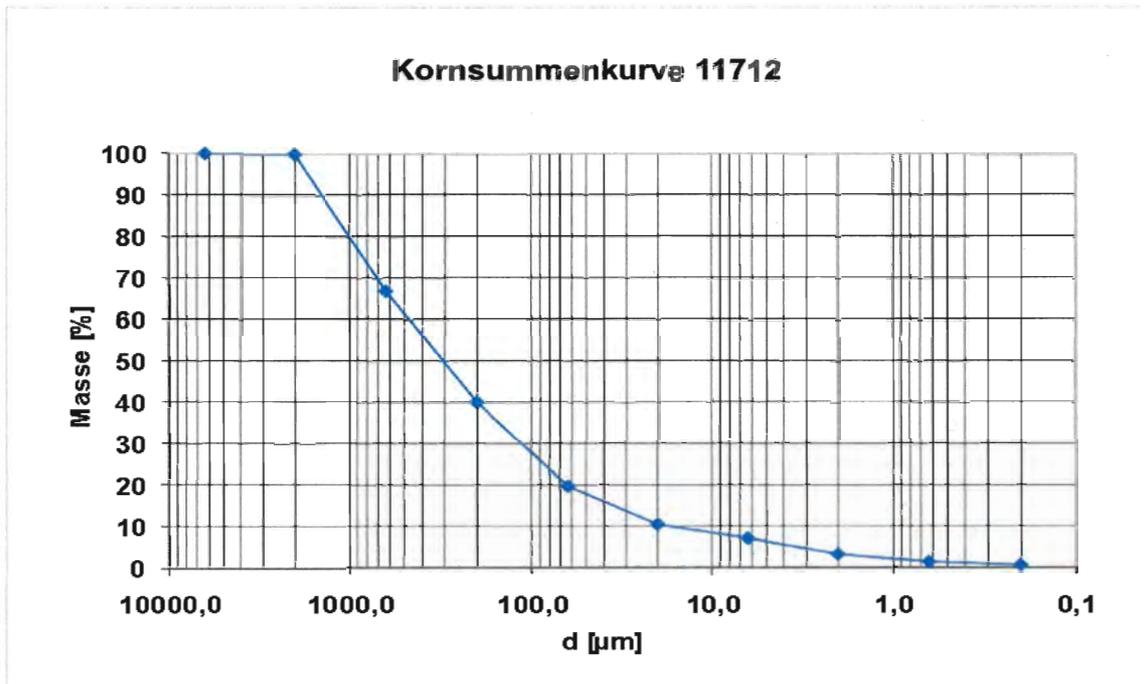


Abbildung 10-63: Kornsummenkurve 11712

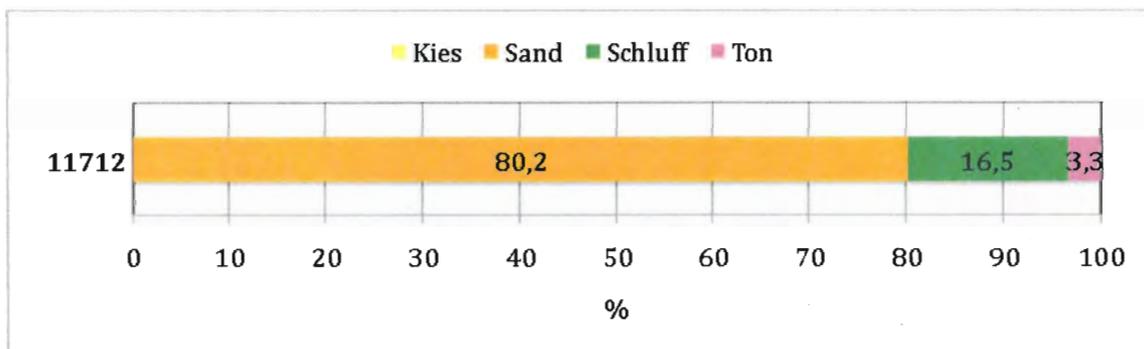


Abbildung 10-64: Kornverteilung 11712

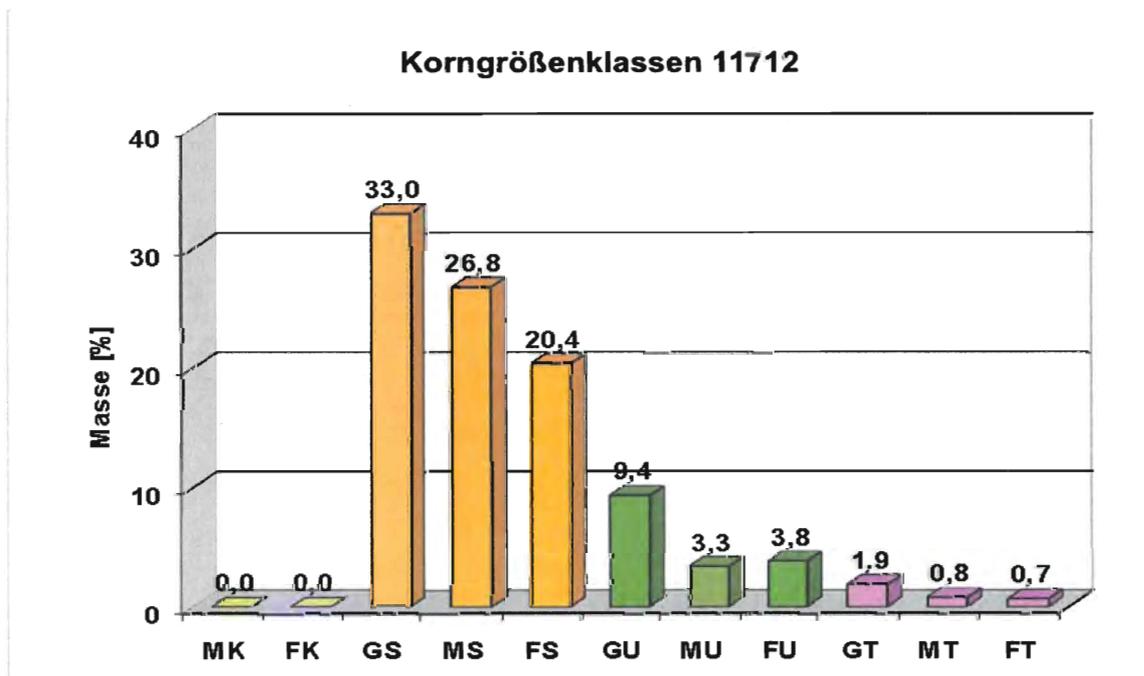


Abbildung 10-65: Korngrößenklassen 11712

Steinbruch: **Magnolithe Gesellschaft m.b.H.**
Kaltenbergstraße 34
8075 Hart bei Graz
Steiermark

IAG-Labor Nr.: 11733

Mineralogie:
Hauptbestandteile: Serpentin, Talk
Nebenbestandteile: -
in Spuren vorhanden: Amphibolit, Olivin
Kalzitgehalt: - %
Dolomitgehalt: - %

Messwerte:
pH-Wert: 9,0
elektr. Leitfähigkeit: 480 $\mu\text{S}/\text{cm}$



Abbildung 10-66: Steinmehl 11733

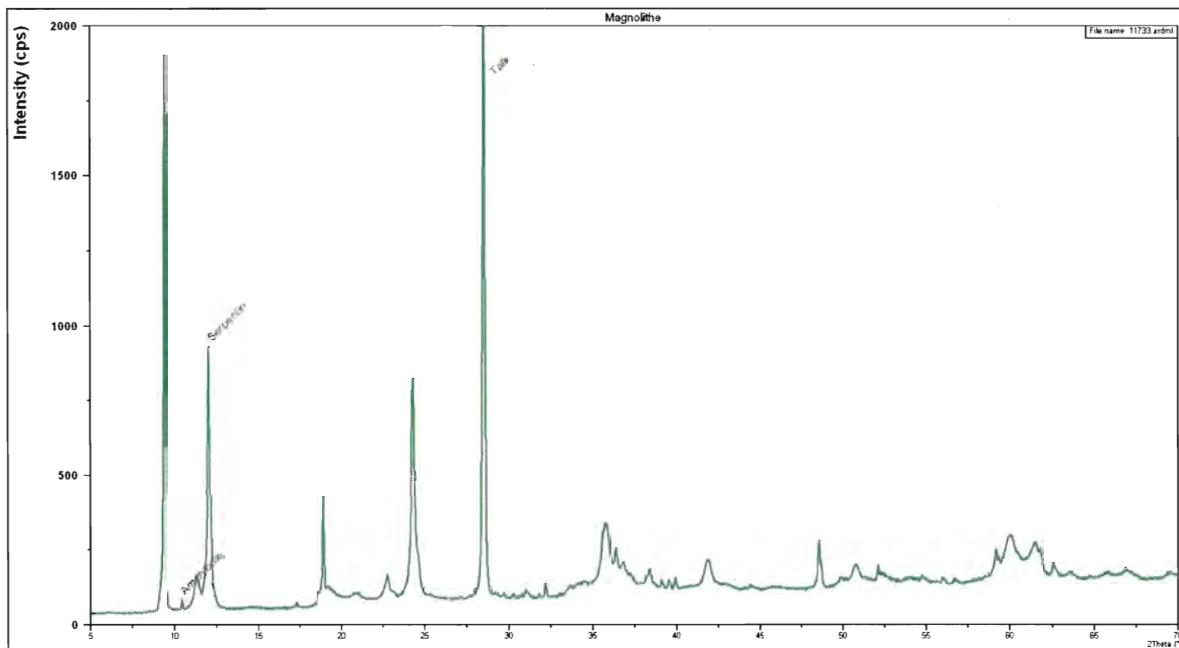


Abbildung 10-67: Röntgendiffraktogramm 11733

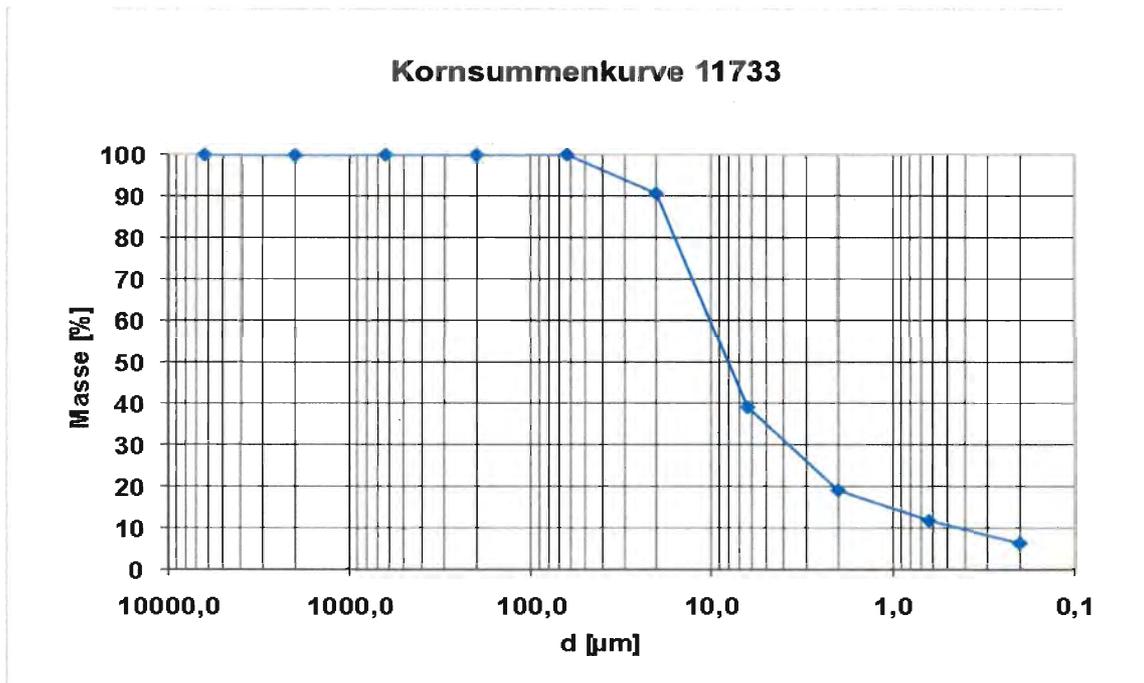


Abbildung 10-68: Kornsummenkurve 11733

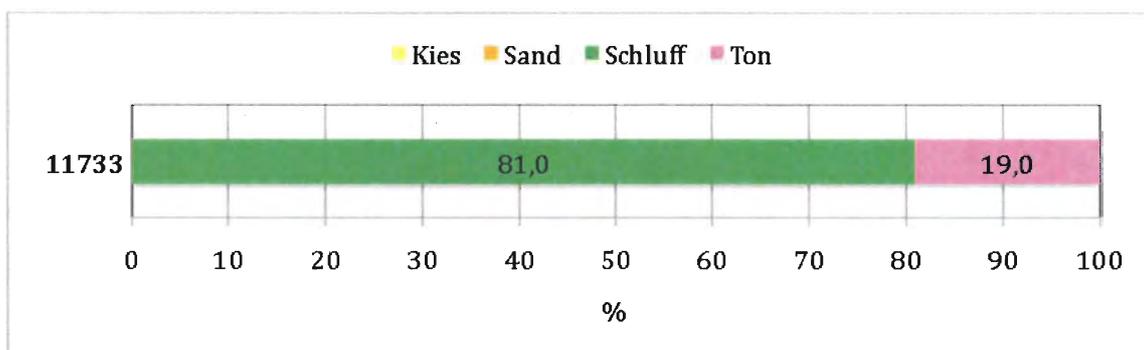


Abbildung 10-69: Kornverteilung 11733

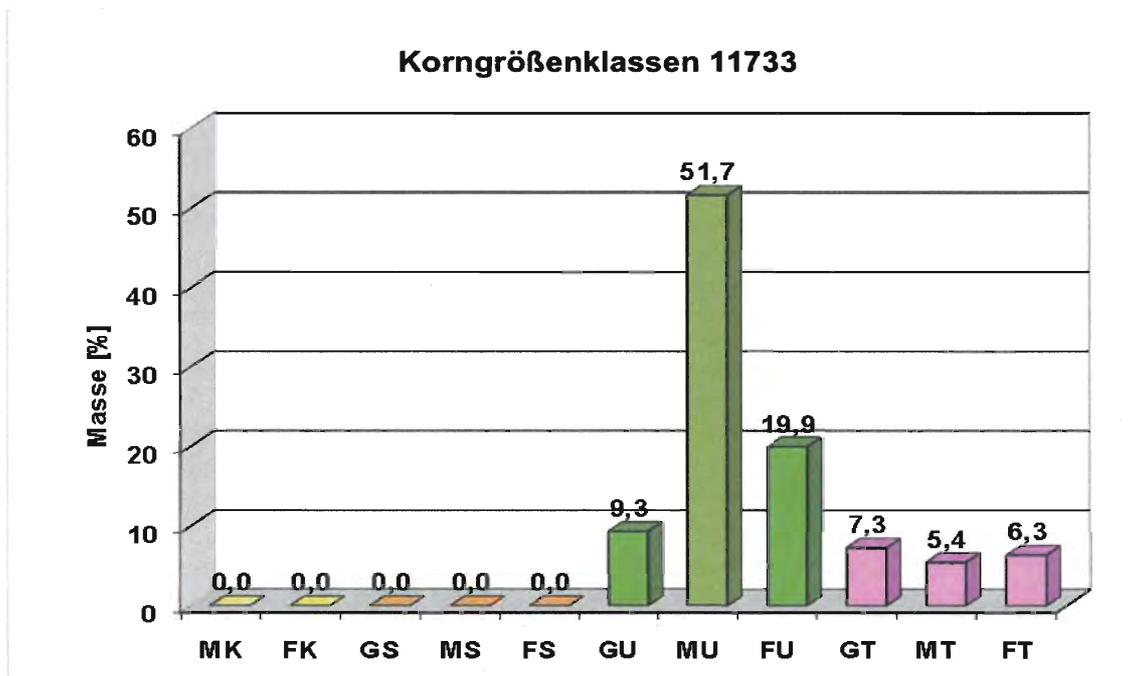


Abbildung 10-70: Korngrößenklassen 11733

Steinbruch: **OMYA GesmbH**
Gersheim Straße 1-2
9722 Gummern
Kärnten
www.schotter-renz.at
IAG-Labor Nr.: 11734

Mineralogie:
Hauptbestandteile: Kalzit
Nebenbestandteile: -
in Spuren vorhanden: Quarz, Dolomit
Kalzitgehalt: 98 %
Dolomitgehalt: 1 %

Messwerte:
pH-Wert: 8,3
elektr. Leitfähigkeit: 181 $\mu\text{S}/\text{cm}$



Abbildung 10-71: Steinmehl 11734

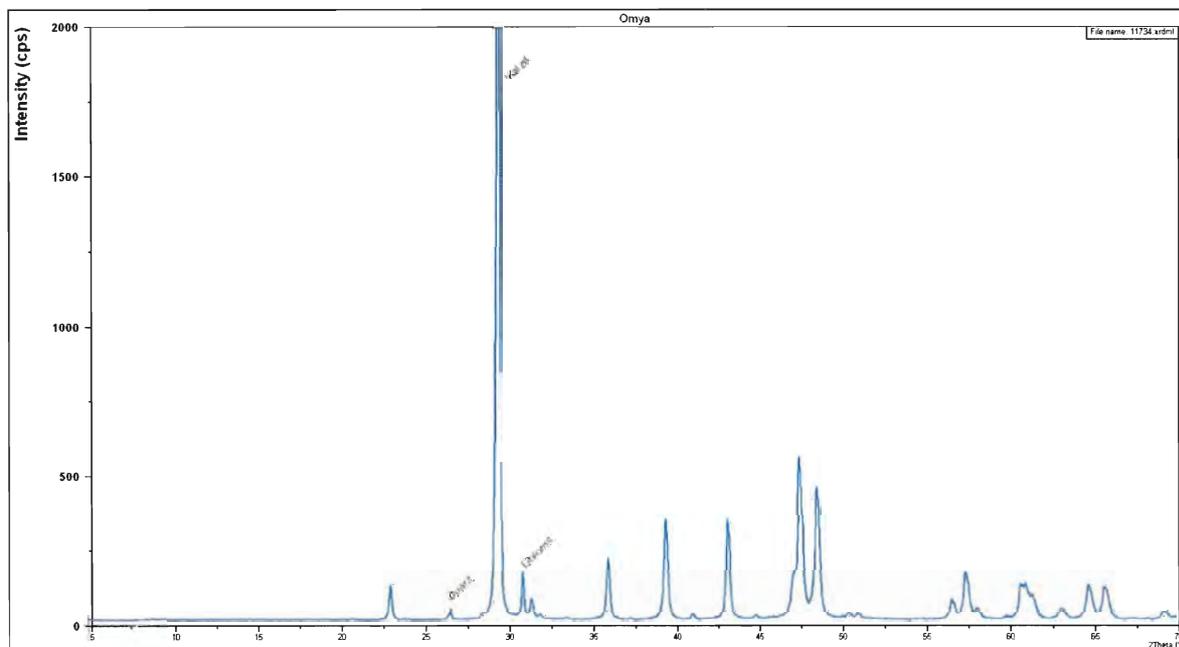


Abbildung 10-72: Röntgendiffraktogramm 11734

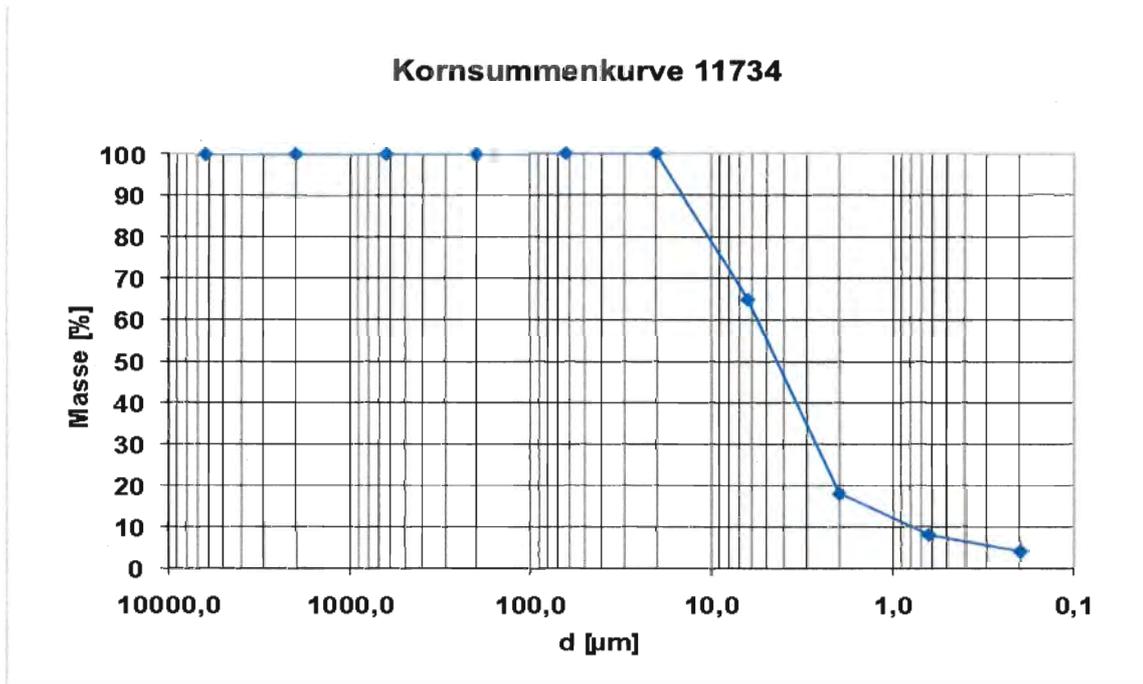


Abbildung 10-73: Kornsummenkurve 11734

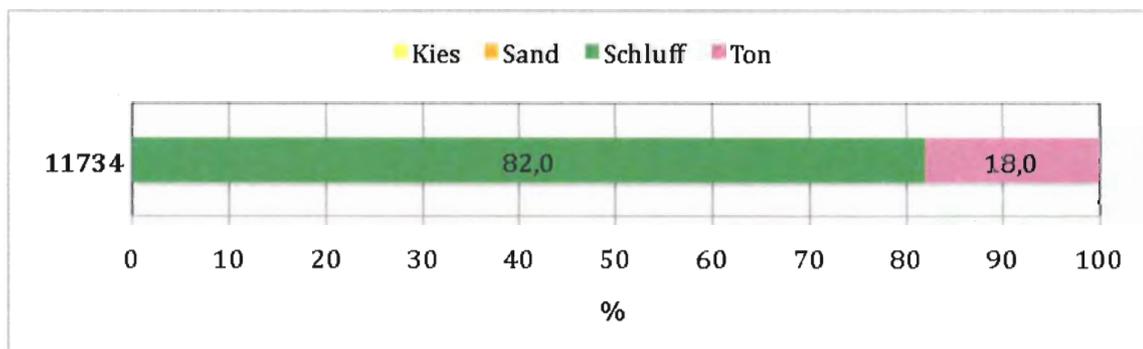


Abbildung 10-74: Kornverteilung 11734

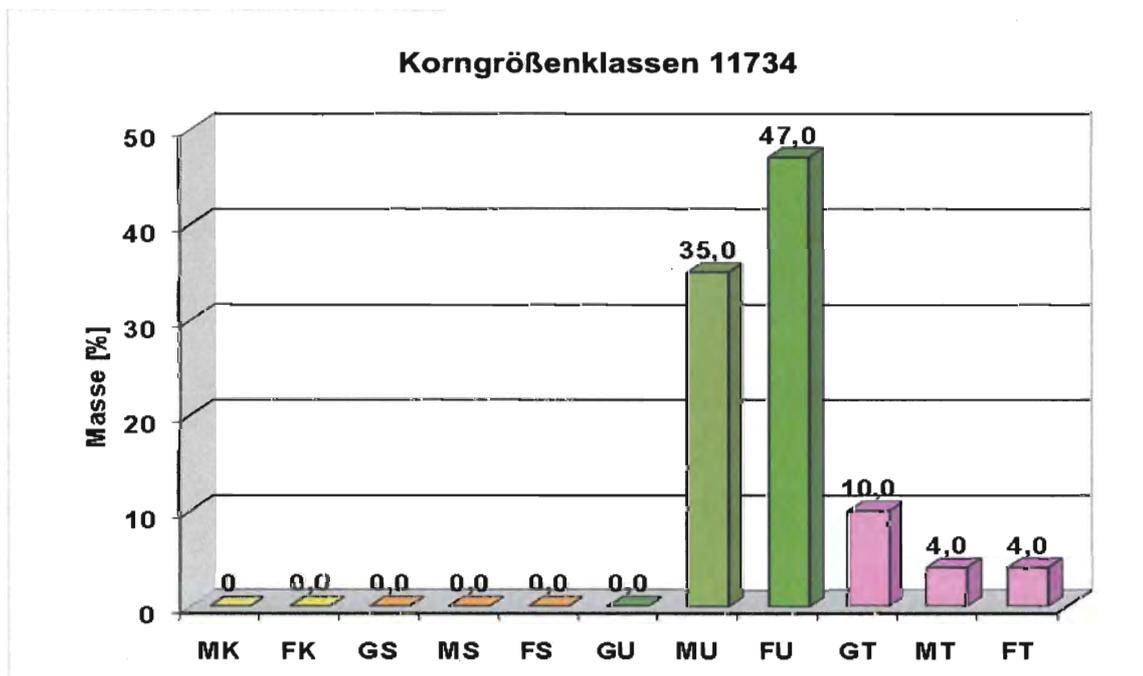


Abbildung 10-75: Korngrößenklassen 11734

Steinbruch: **Robert Schindele & Co. OG.**

Kicking 18
3122 Kicking
Niederösterreich
www.mineralien.co.at
IAG-Labor Nr.: 11735

Mineralogie:

Hauptbestandteile: Quarz, Glimmer, Kalifeldspat, Plagioklase

Nebenbestandteile: Chlorit

in Spuren vorhanden: -

Kalzitgehalt: - %

Dolomitgehalt: - %

Messwerte:

pH-Wert: 7,4

elektr. Leitfähigkeit: 53 $\mu\text{S/cm}$



Abbildung 10-76: Steinmehl 11735

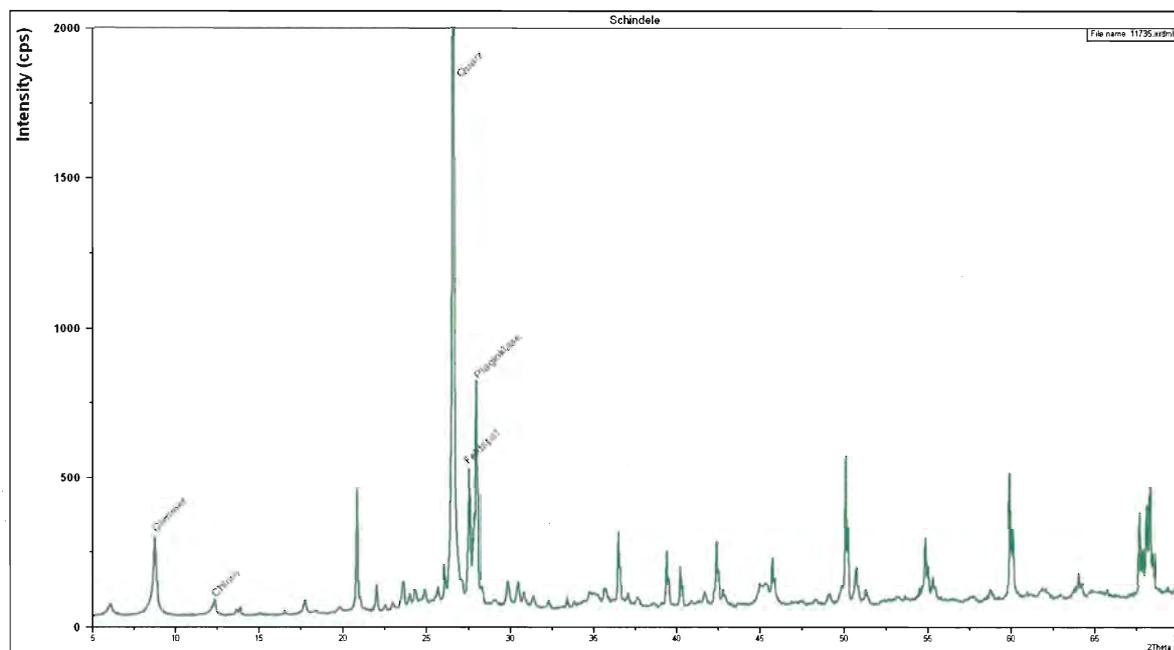


Abbildung 10-77: Röntgendiffraktogramm 11735

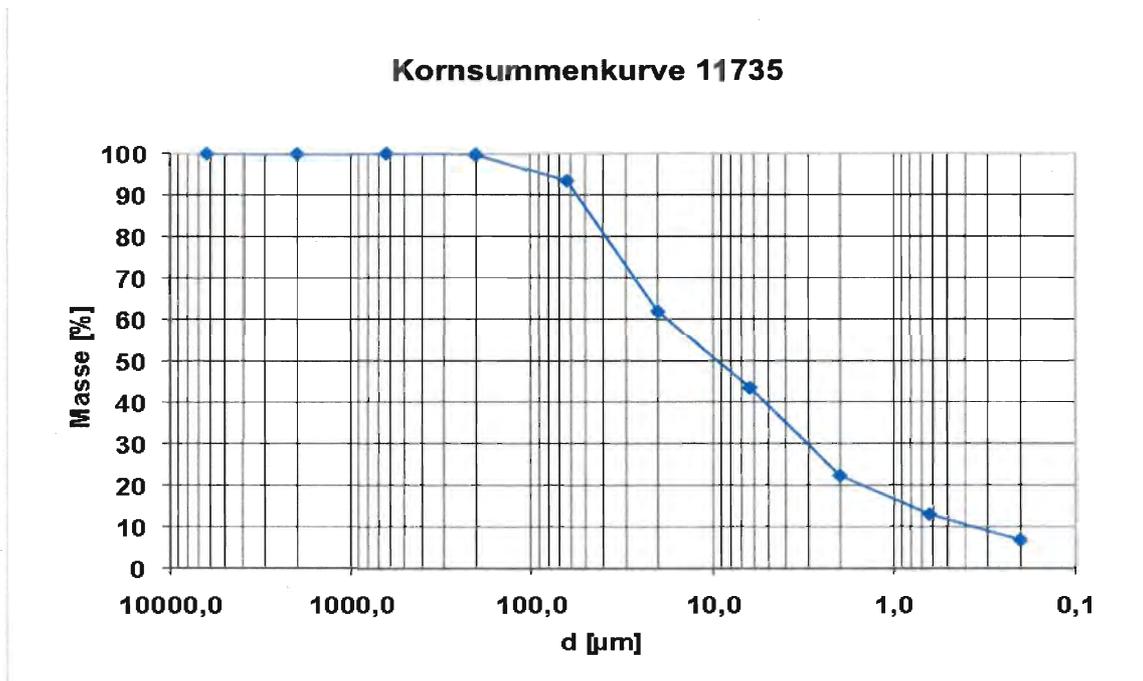


Abbildung 10-78: Kornsummenkurve 11735

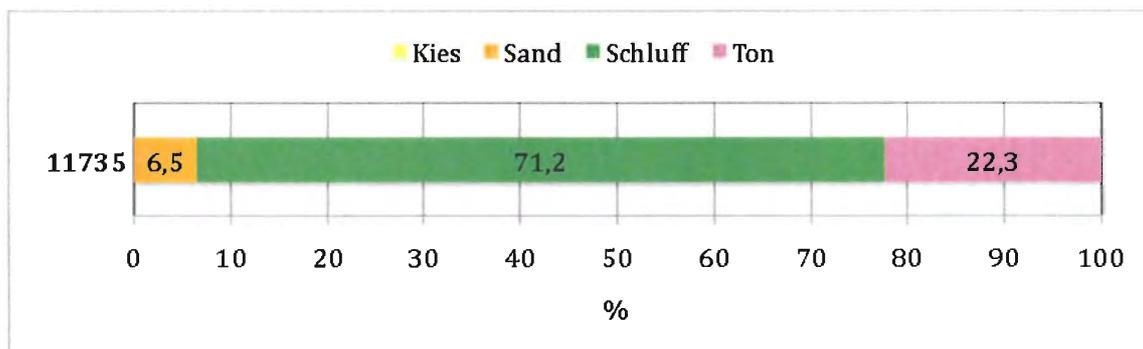


Abbildung 10-79: Kornverteilung 11735

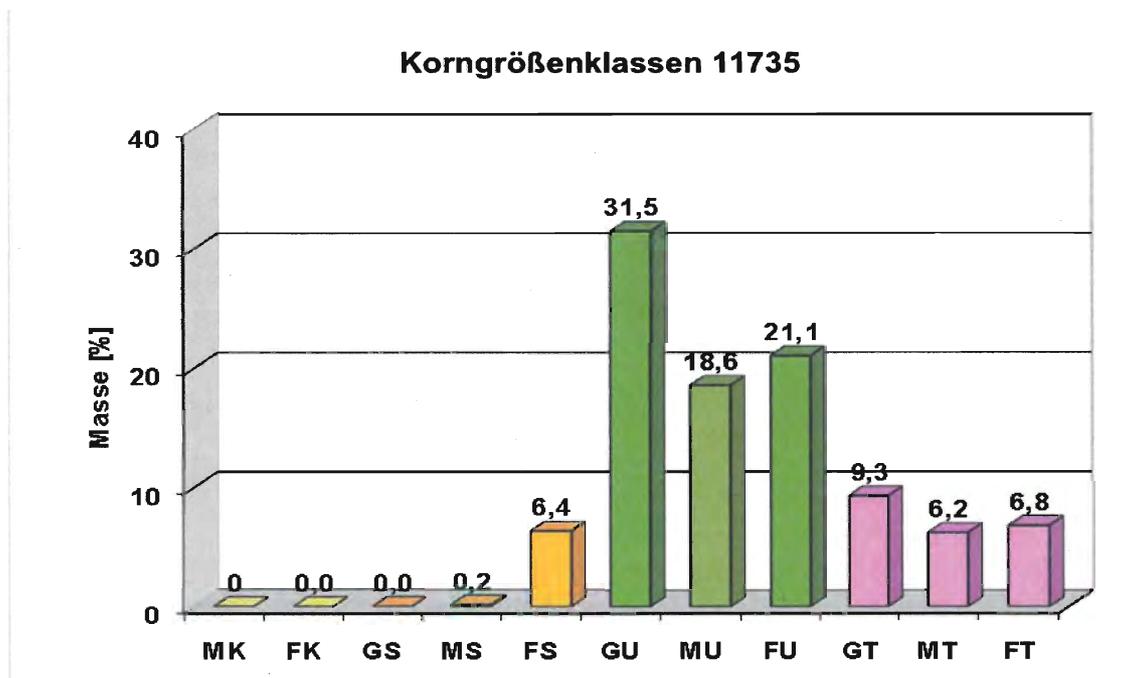


Abbildung 10-80: Korngrößenklassen 11735

Steinbruch: **Hollitzer Baustoffwerke Betriebs G.m.b.H.**
Am Pfaffenberg 1
2405 Bad Deutsch-Altenburg
Niederösterreich
www.hollitzer.at
IAG-Labor Nr.: 11736

Mineralogie:
Hauptbestandteile: Dolomit
Nebenbestandteile: Kalzit
in Spuren vorhanden: Glimmer, Chlorit, Quarz, Kalifeldspat, Plagioklase
Kalzitgehalt: 12 %
Dolomitgehalt: 51 %

Messwerte:
pH-Wert: 8,1
elektr. Leitfähigkeit: 639 $\mu\text{S/cm}$



Abbildung 10-81: Steinmehl 11736

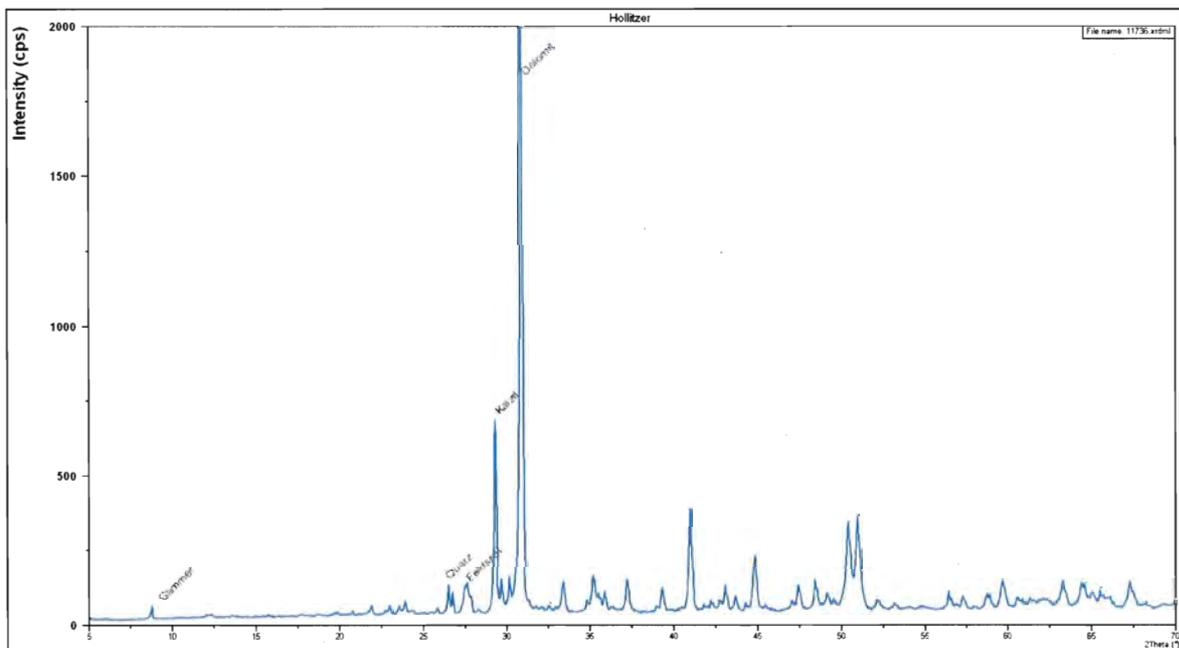


Abbildung 10-82: Röntgendiffraktogramm 11736

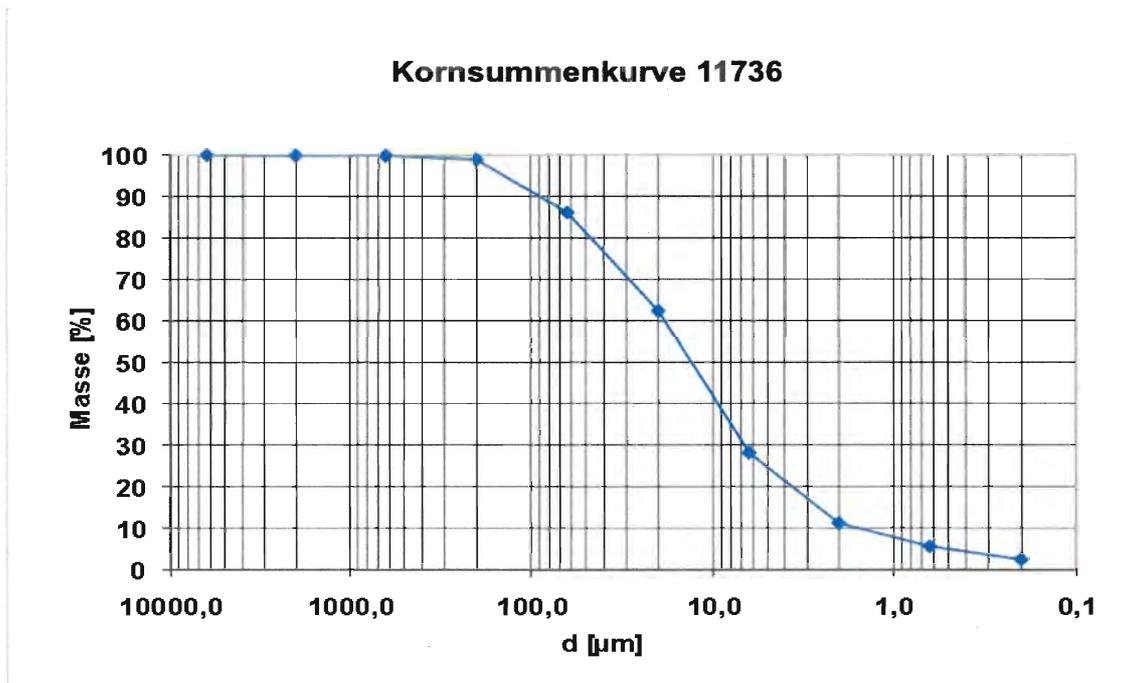


Abbildung 10-83: Kornsummenkurve 11736

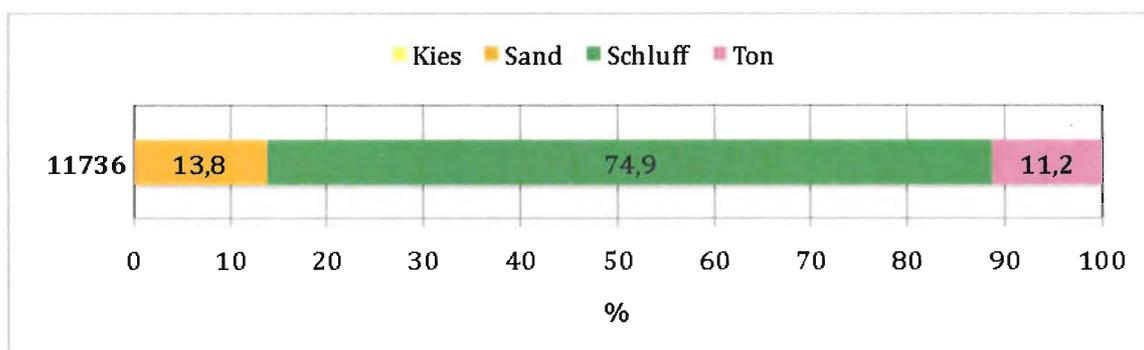


Abbildung 10-84: Kornverteilung 11736

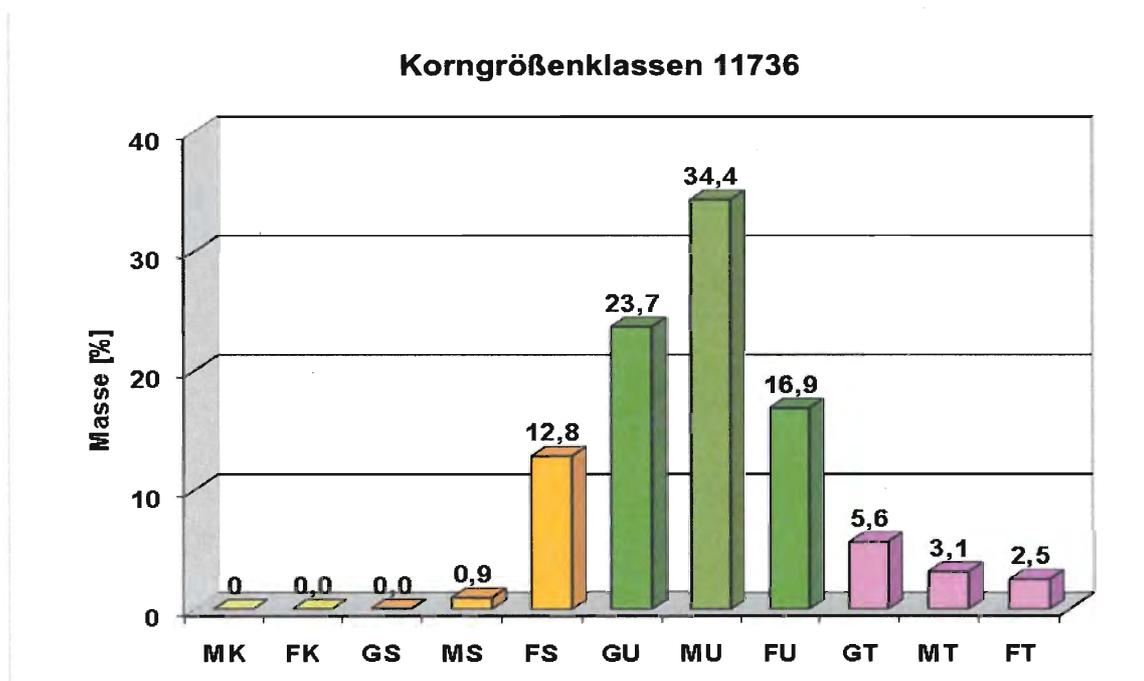


Abbildung 10-85: Korngrößenklassen 11736

Steinbruch: Pinktaler Schotterwerke GmbH & Co KG

Steinamangerer Straße 16
7400 Oberwart
Burgenland
www.schotterweb.at
IAG-Labor Nr.: 11737

Mineralogie:

Hauptbestandteile: Chlorit, Plagioklase
Nebenbestandteile: Amphibolit, Kalifeldspat
in Spuren vorhanden: Quarz
Kalzitgehalt: - %
Dolomitgehalt: - %

Messwerte:

pH-Wert: 7,9
elektr. Leitfähigkeit: 84 $\mu\text{S/cm}$



Abbildung 10-86: Steinmehl 11737

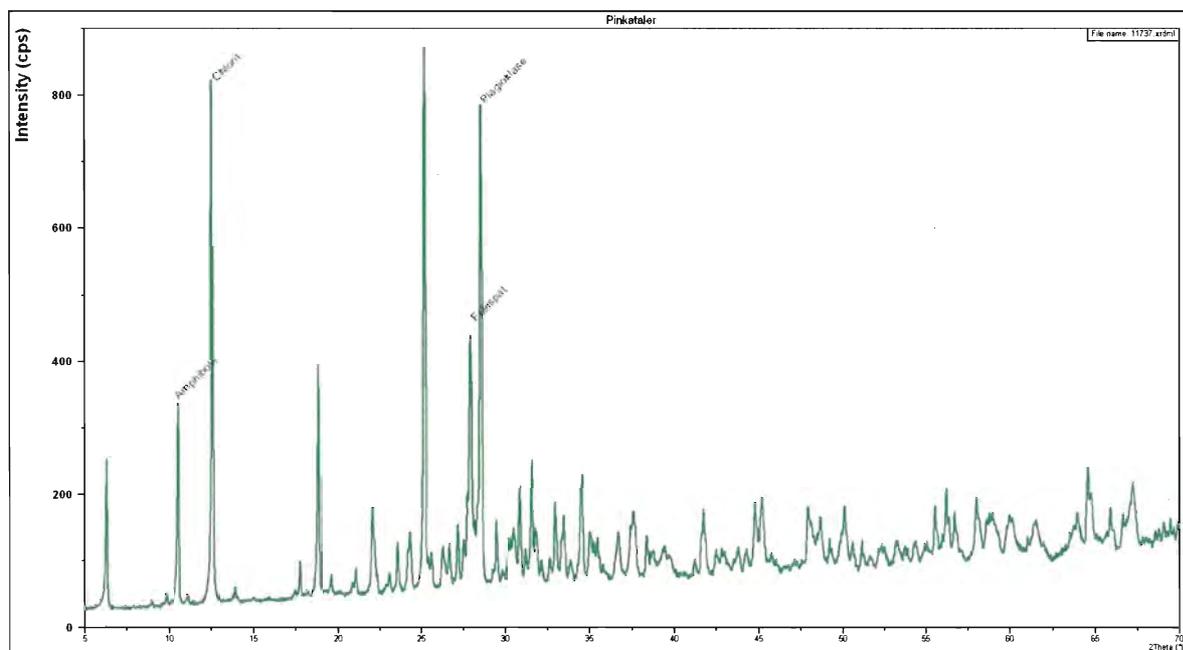


Abbildung 10-87: Röntgendiffraktogramm 11737

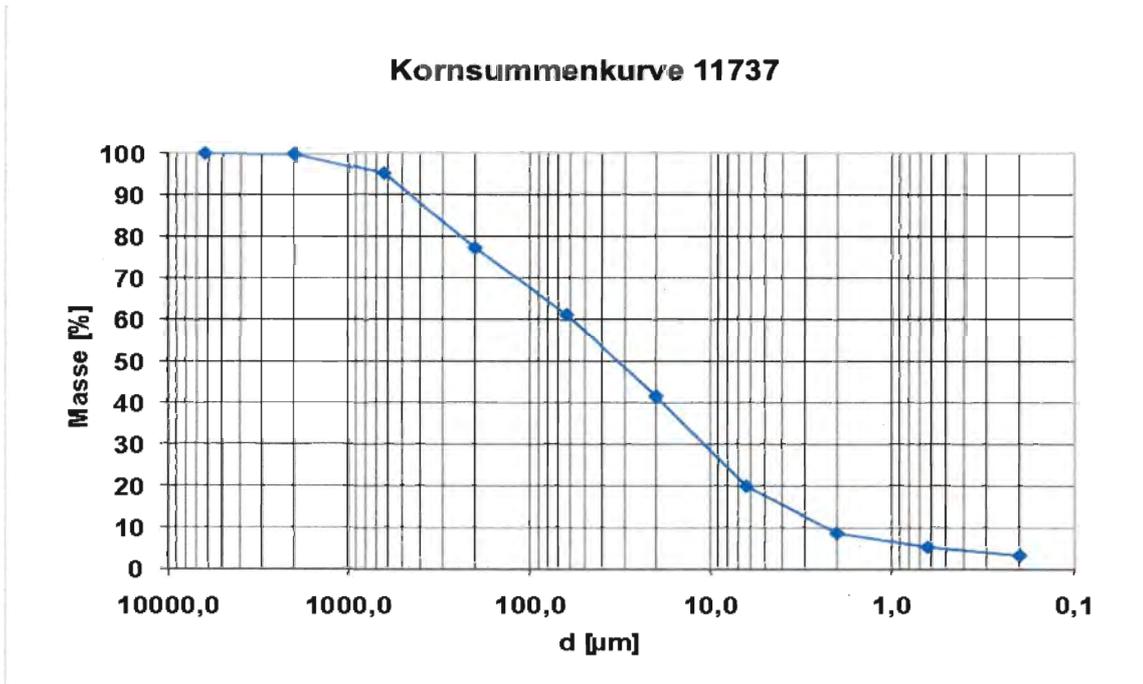


Abbildung 10-88: Kornsummenkurve 11737

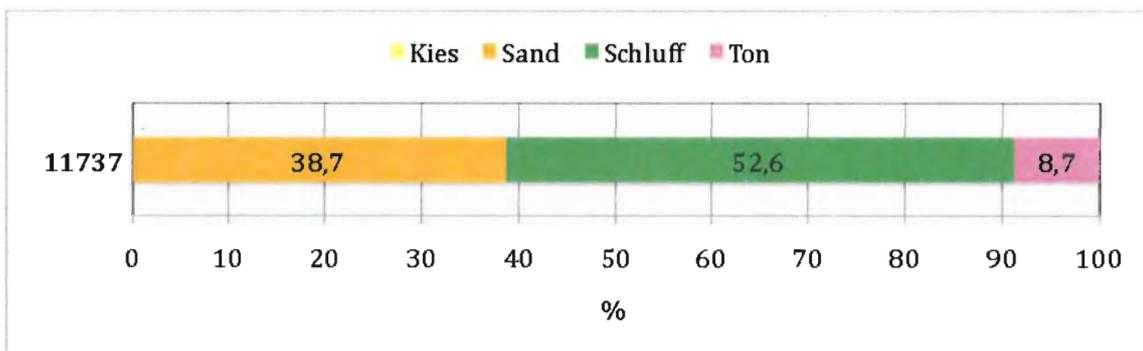


Abbildung 10-89: Kornverteilung 11737

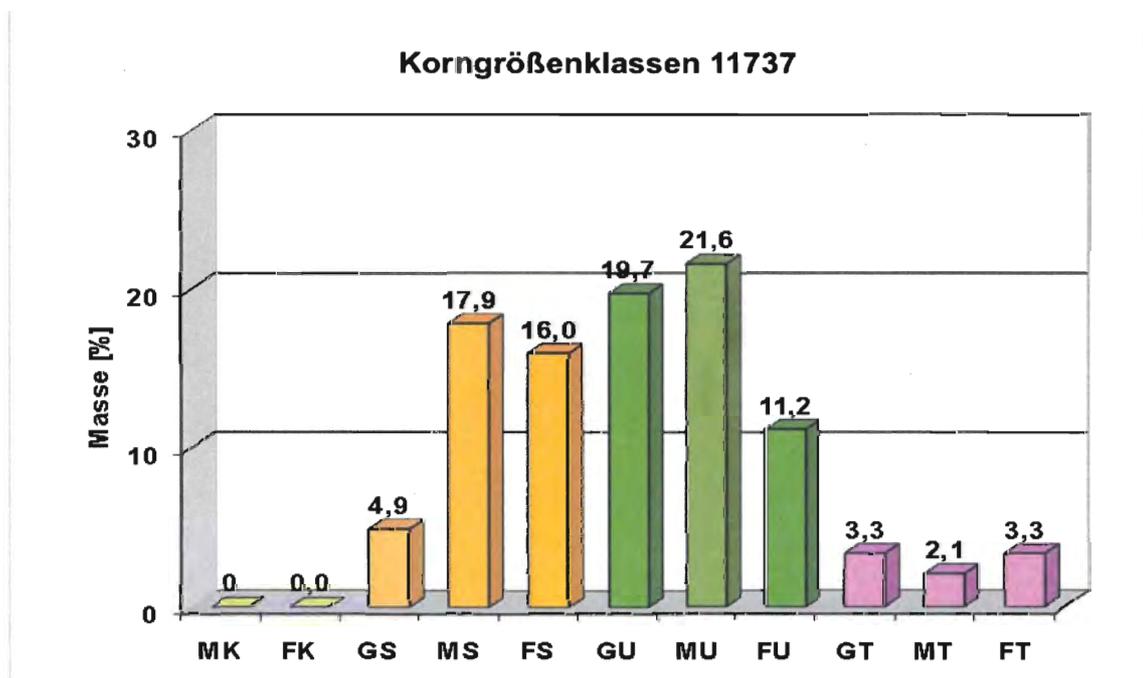


Abbildung 10-90: Korngrößenklassen 11737

Steinbruch: Wietersdorfer & Peggauer Zementwerk GmbH

Wietersdorf 1
9373 Klein St. Paul
Kärnten
www.wup.at
IAG-Labor Nr.: 11738

Mineralogie:

Hauptbestandteile: Kalzit
Nebenbestandteile: -
in Spuren vorhanden: -
Kalzitgehalt: 100 %
Dolomitgehalt: - %

Messwerte:

pH-Wert: 8,2
elektr. Leitfähigkeit: 163 $\mu\text{S/cm}$



Abbildung 10-91: Steinmehl 11738

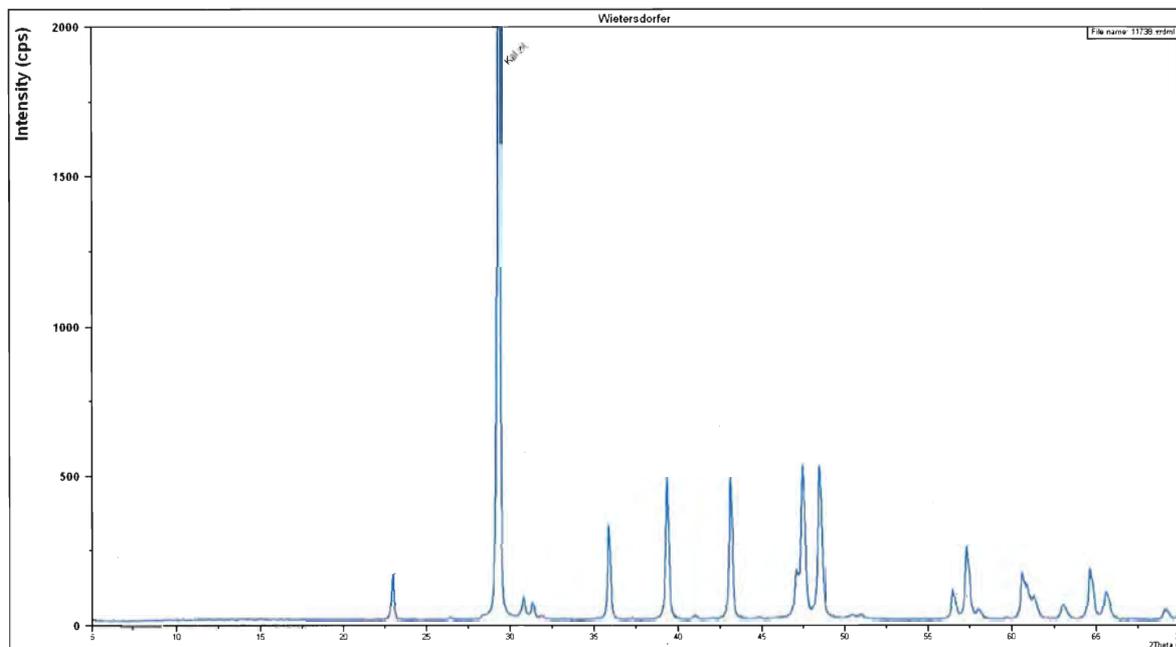


Abbildung 10-92: Röntgendiffraktogramm 11738

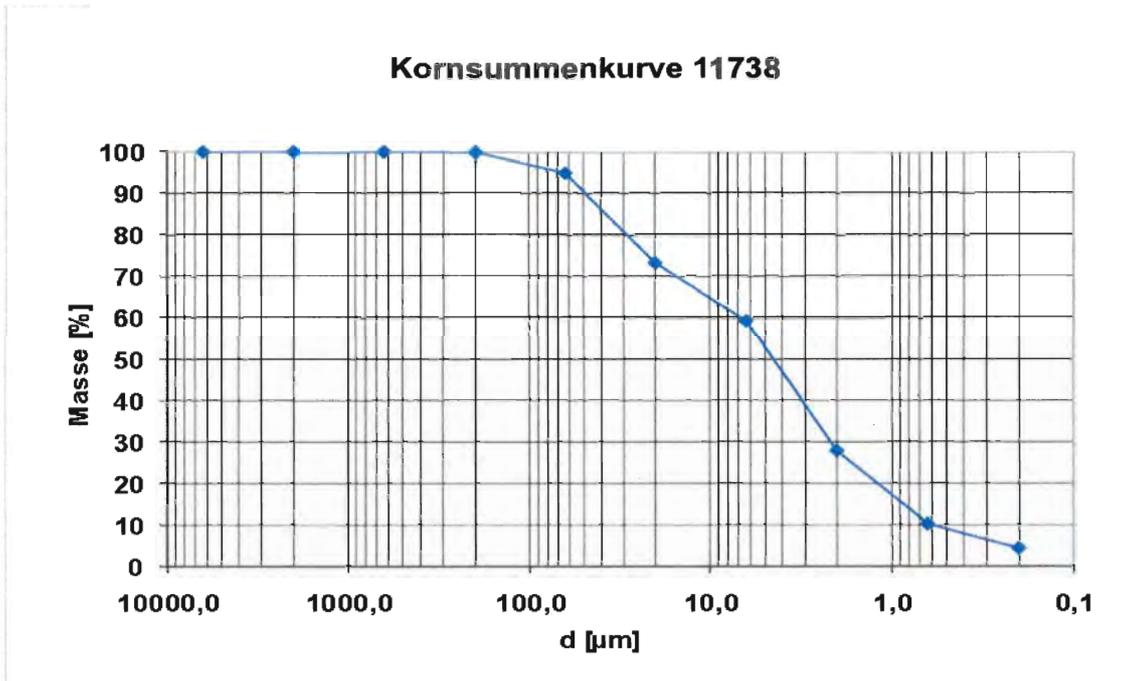


Abbildung 10-93: Kornsummenkurve 11738

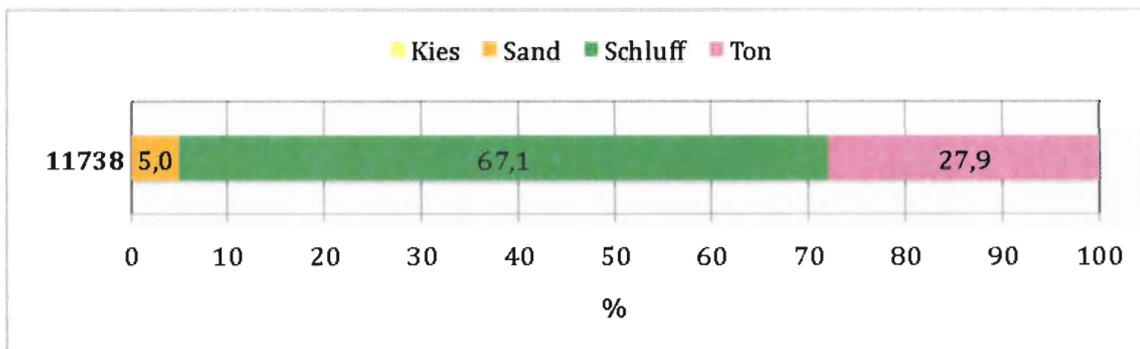


Abbildung 10-94: Kornverteilung 11738

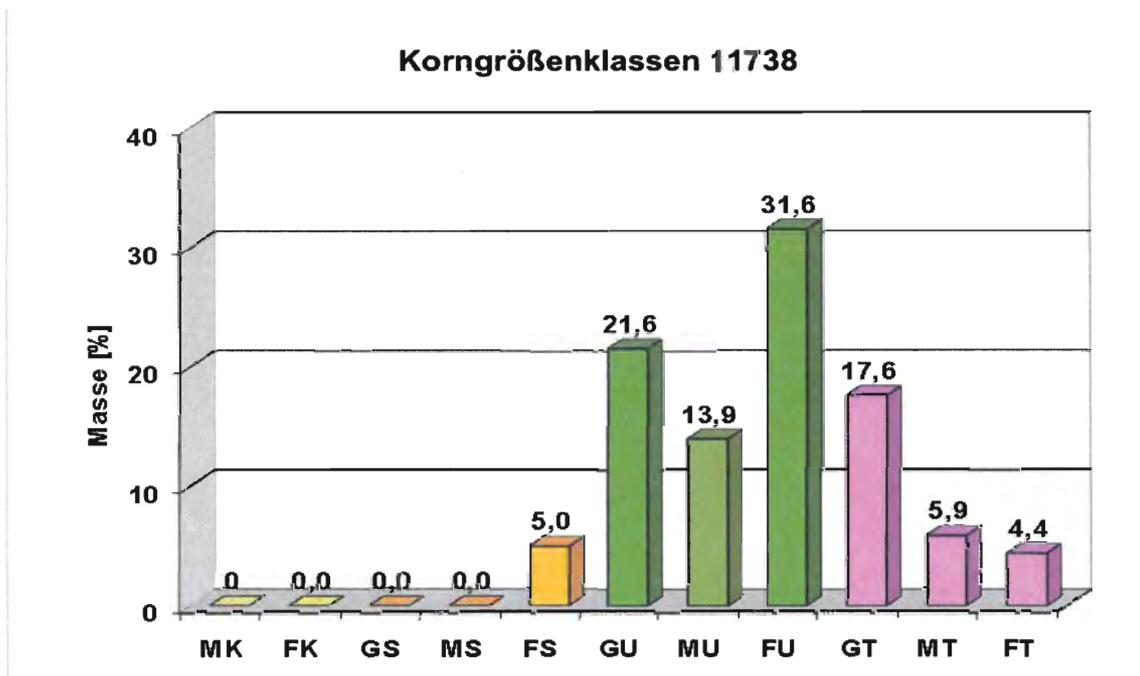


Abbildung 10-95: Korngrößenklassen 11738

Steinbruch: Wietersdorfer & Peggauer Zementwerk GmbH

Wietersdorf 1
9373 Klein St. Paul
Kärnten
www.wup.at
IAG-Labor Nr.: 11739

Mineralogie:

Hauptbestandteile: Kalzit
Nebenbestandteile: -
in Spuren vorhanden: -
Kalzitgehalt: 100 %
Dolomitgehalt: - %

Messwerte:

pH-Wert: 8,3
elektr. Leitfähigkeit: 168 $\mu\text{S/cm}$



Abbildung 10-96: Steinmehl 11739

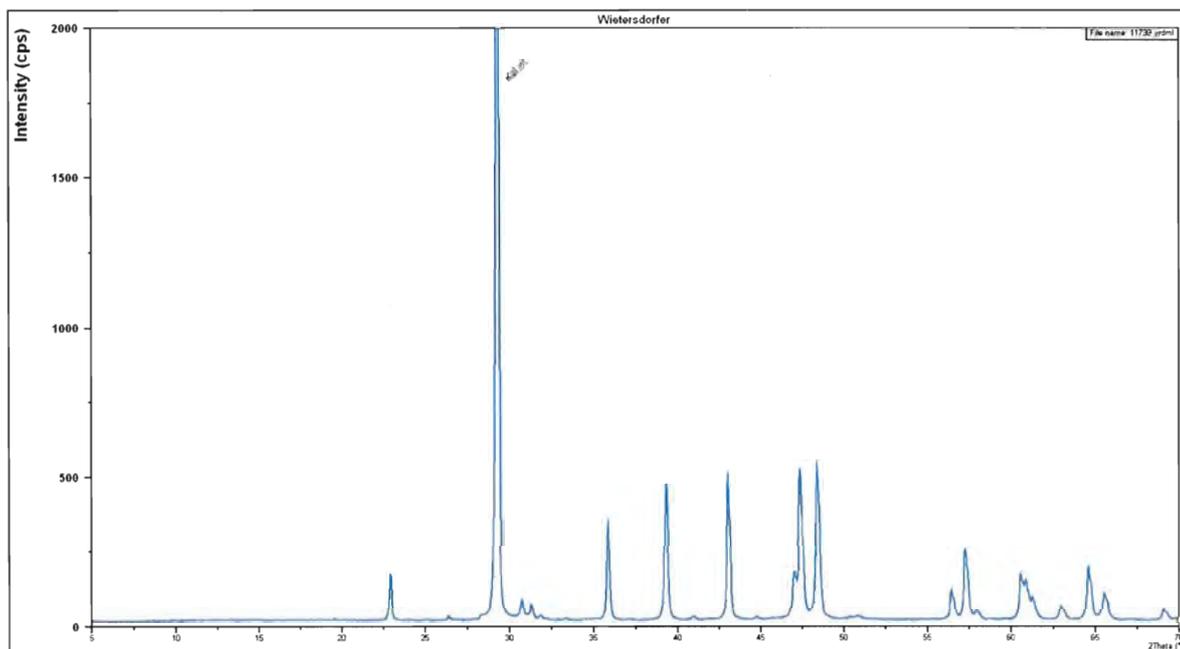


Abbildung 10-97: Röntgendiffraktogramm 11739

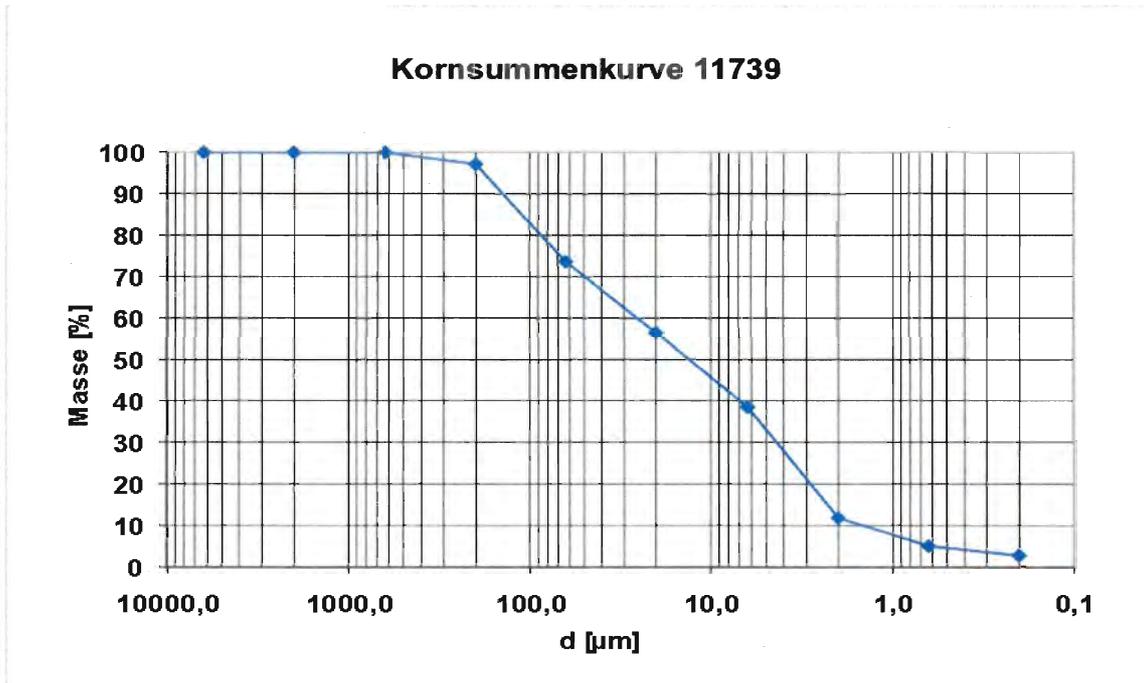


Abbildung 10-98: Kornsummenkurve 11739

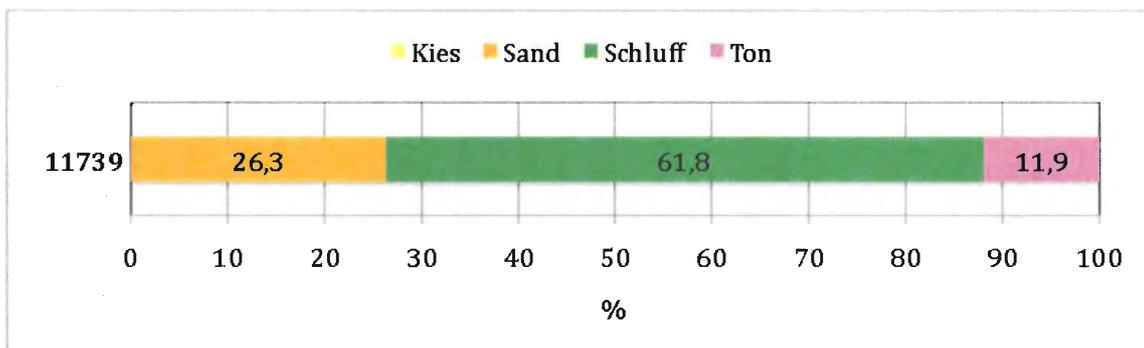


Abbildung 10-99: Kornverteilung 11739

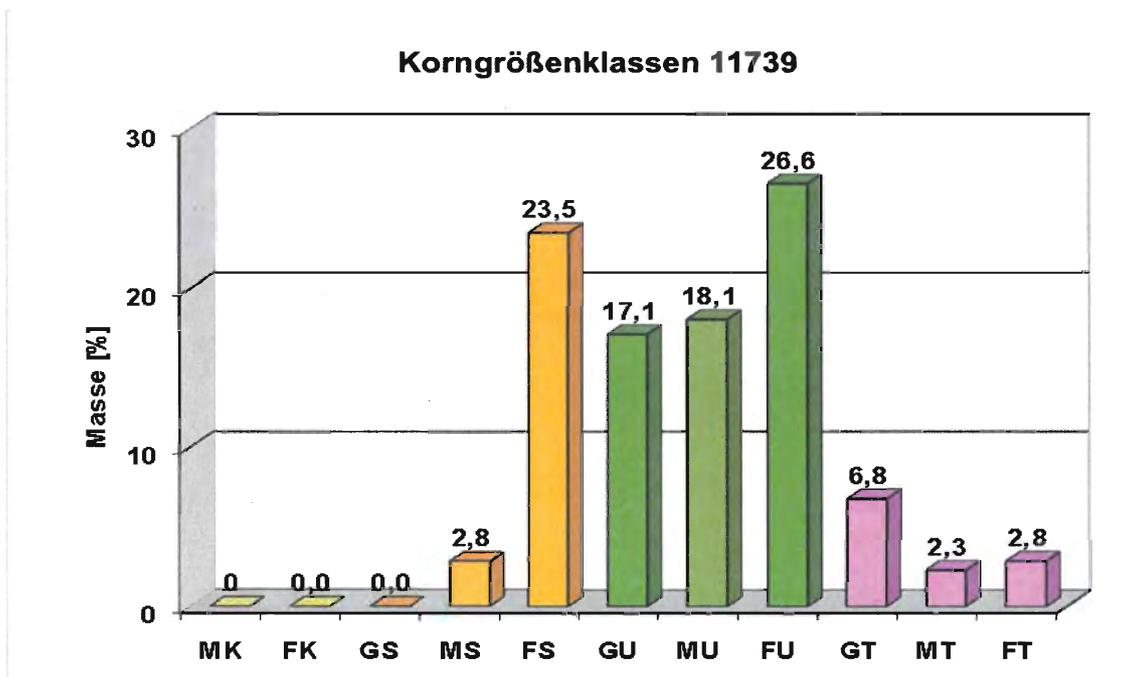


Abbildung 10-100: Korngrößenklassen 11739

Steinbruch: "BAUMIT" Baustoffe Gesellschaft m.b.H.

Rettenbach 143
4820 Bad Ischl
Oberösterreich
www.baumit.com
IAG-Labor Nr.: 11740

Mineralogie:

Hauptbestandteile: Kalzit

Nebenbestandteile: -

in Spuren vorhanden: -

Kalzitgehalt: 100 %

Dolomitgehalt: - %

Messwerte:

pH-Wert: 8,2

elektr. Leitfähigkeit: 185 $\mu\text{S/cm}$



Abbildung 10-101: Steinmehl 11740

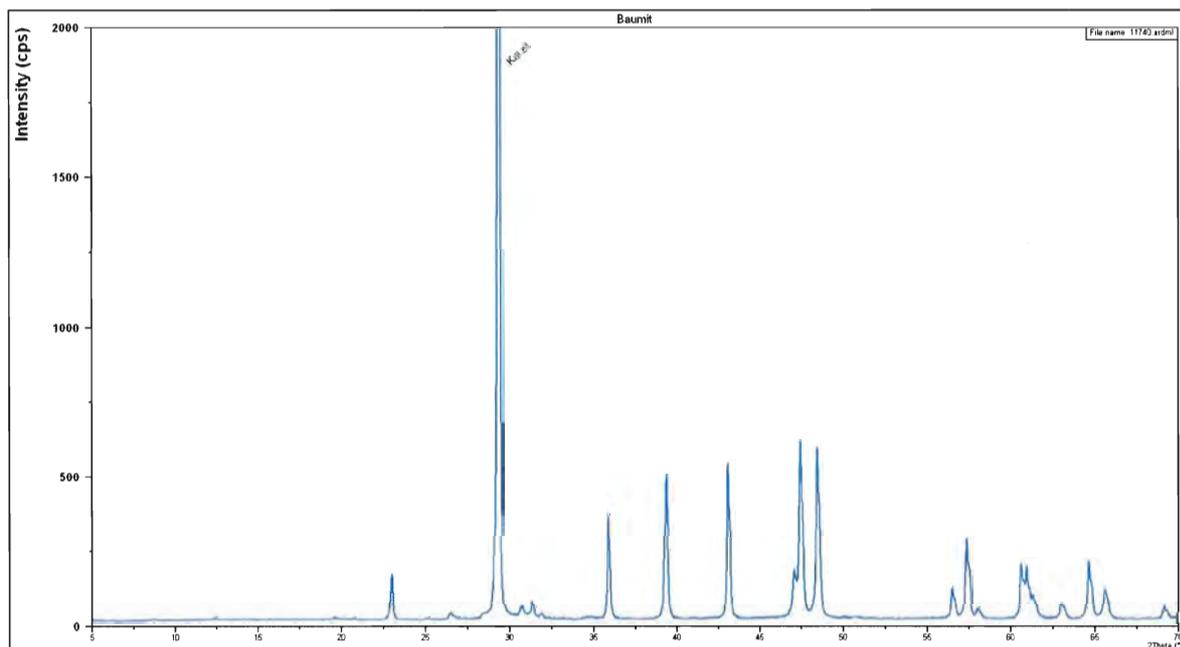


Abbildung 10-102: Röntgendiffraktogramm 11740

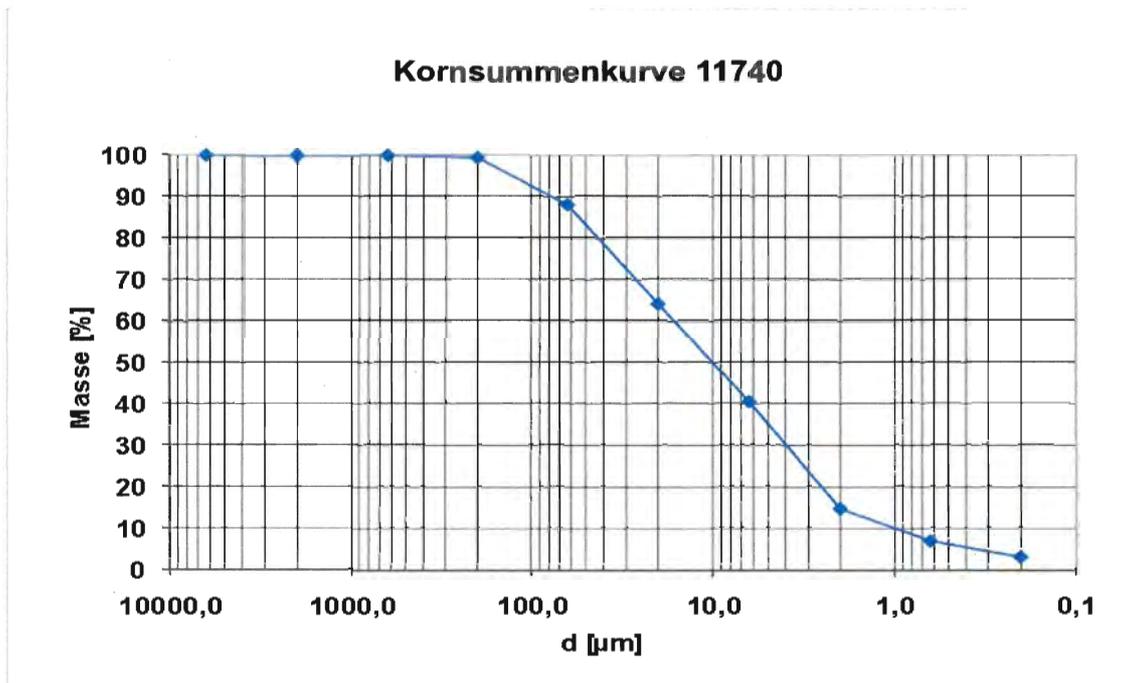


Abbildung 10-103: Kornsummenkurve 11740

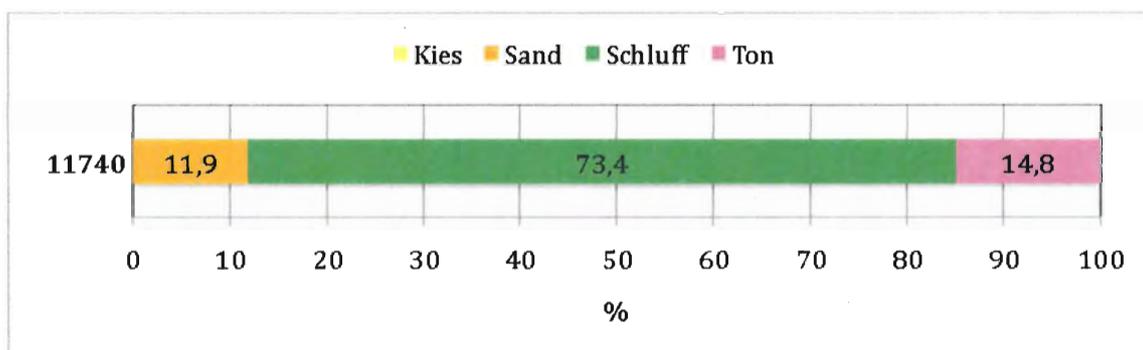


Abbildung 10-104: Kornverteilung 11740

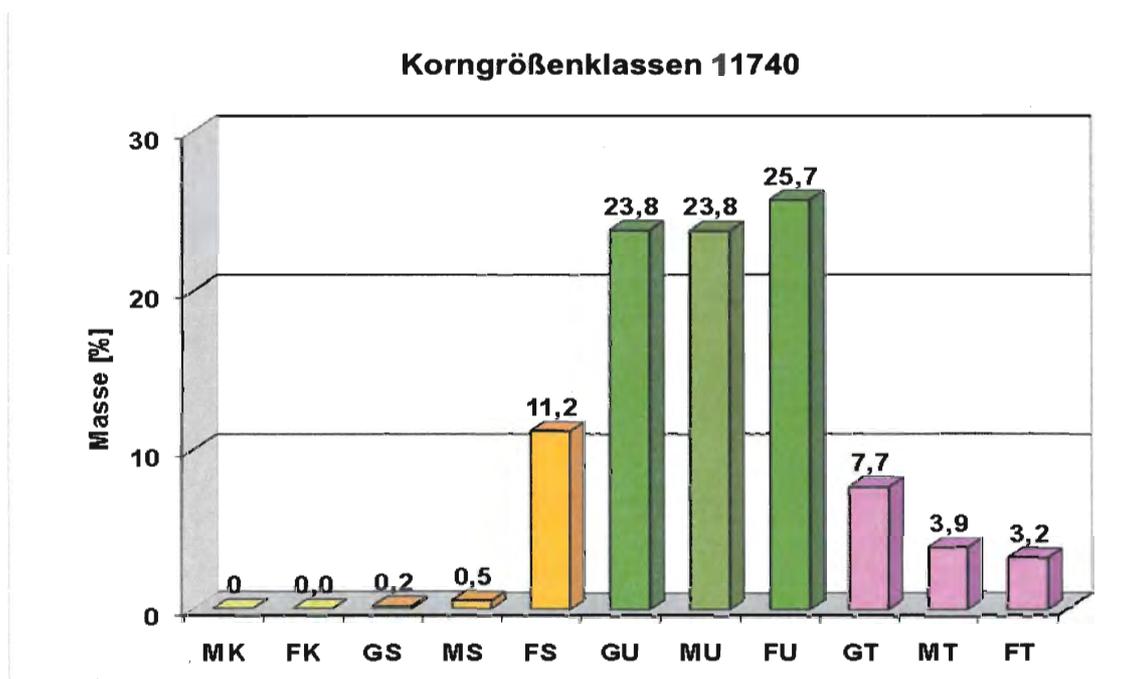


Abbildung 10-105: Korngrößenklassen 11740

Steinbruch: Jenul Gesellschaft m.b.H.

Podlanig 7
9620 Hermagor
Kärnten

IAG-Labor Nr.: 11741

Mineralogie:

Hauptbestandteile: Glimmer, Chlorit, Quarz
Nebenbestandteile: Plagioklase
in Spuren vorhanden: Kalifeldspat, Kalzit, Dolomit
Kalzitgehalt: 4 %
Dolomitgehalt: 1 %

Messwerte:

pH-Wert: 8,3
elektr. Leitfähigkeit: 217 $\mu\text{S/cm}$



Abbildung 10-106: Steinmehl 11741

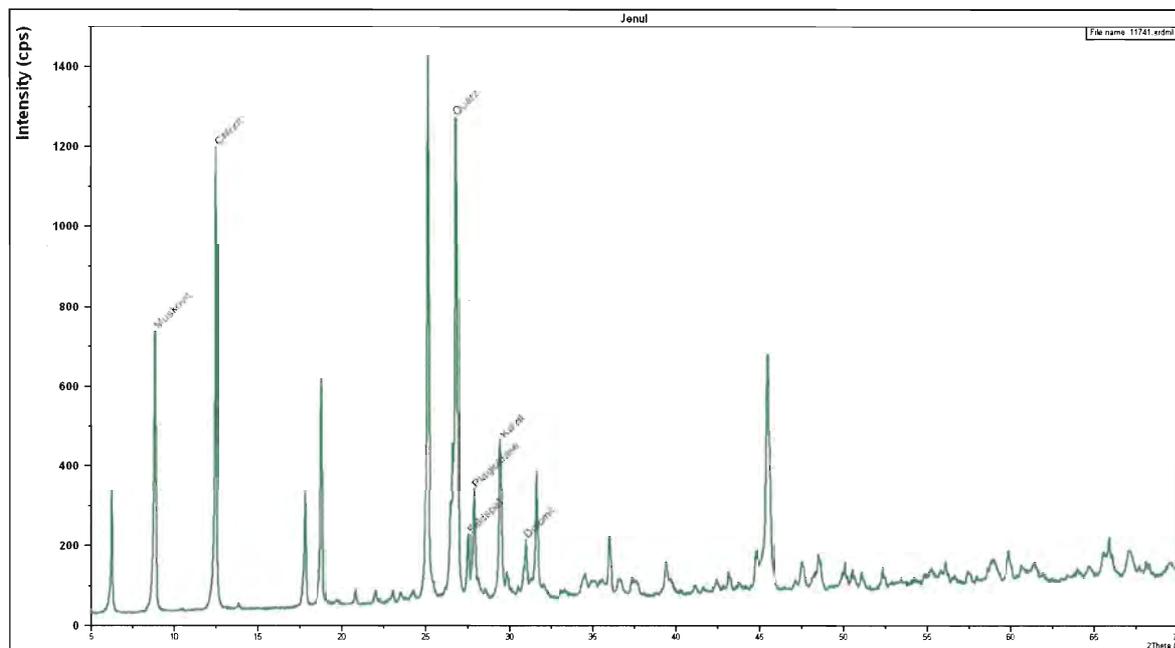


Abbildung 10-107: Röntgendiffraktogramm 11741

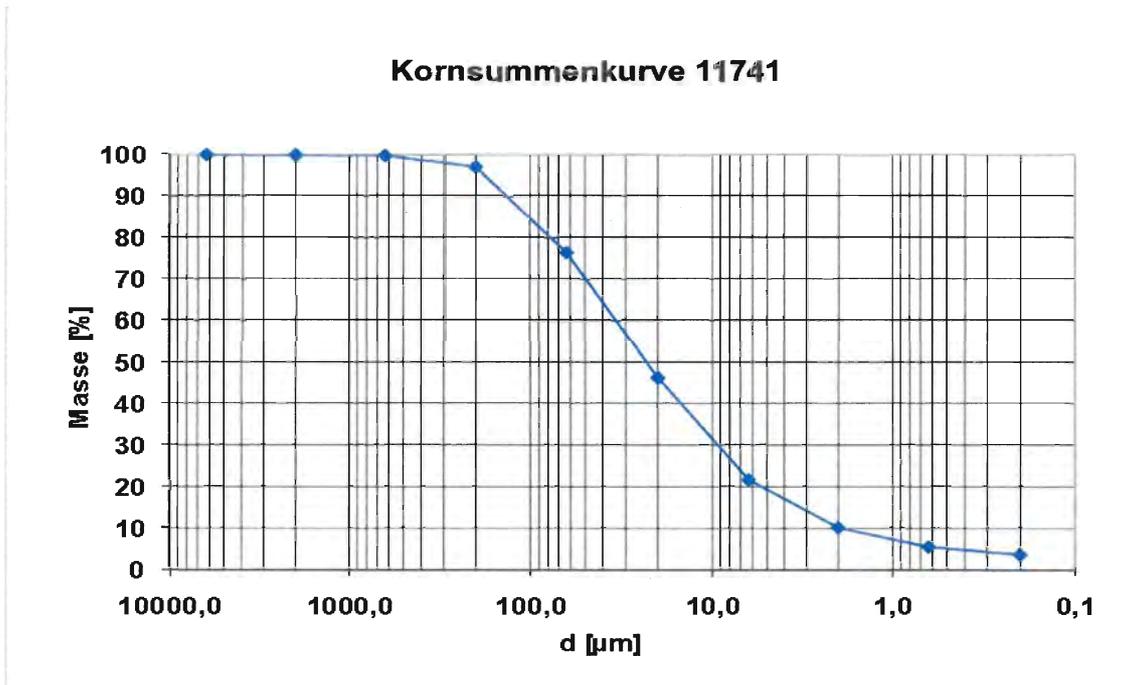


Abbildung 10-108: Kornsummenkurve 11741

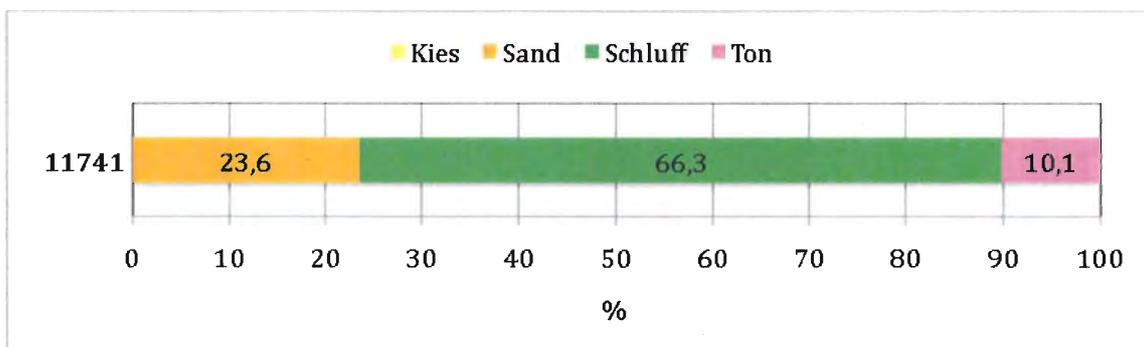


Abbildung 10-109: Kornverteilung 11741

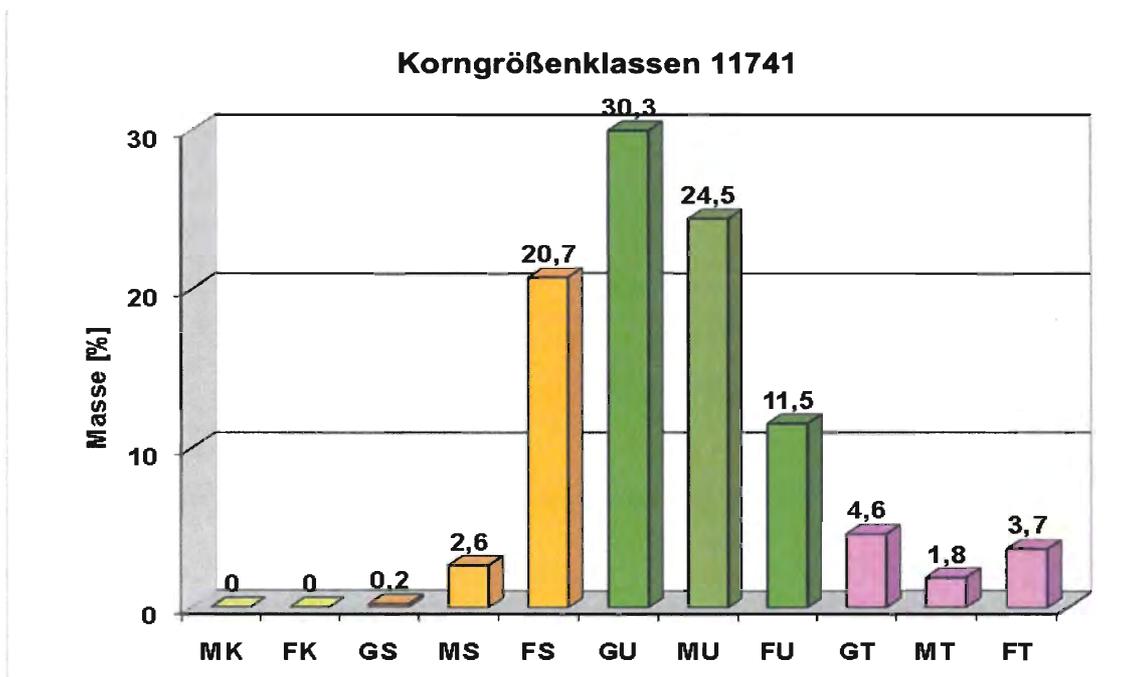


Abbildung 10-110: Korngrößenklassen 11741

Steinbruch: Schäringer Granit Industrie AG

Denisg. 8/10
4780 Schärding
Oberösterreich
www.schaerdinggranit.at
IAG-Labor Nr.: 11743

Mineralogie:

Hauptbestandteile: Glimmer, Quarz
Nebenbestandteile: Kalifeldspat, Plagioklase
in Spuren vorhanden: -
Kalzitgehalt: - %
Dolomitgehalt: - %

Messwerte:

pH-Wert: 8,2
elektr. Leitfähigkeit: 187 $\mu\text{S/cm}$



Abbildung 10-111: Steinmehl 11743

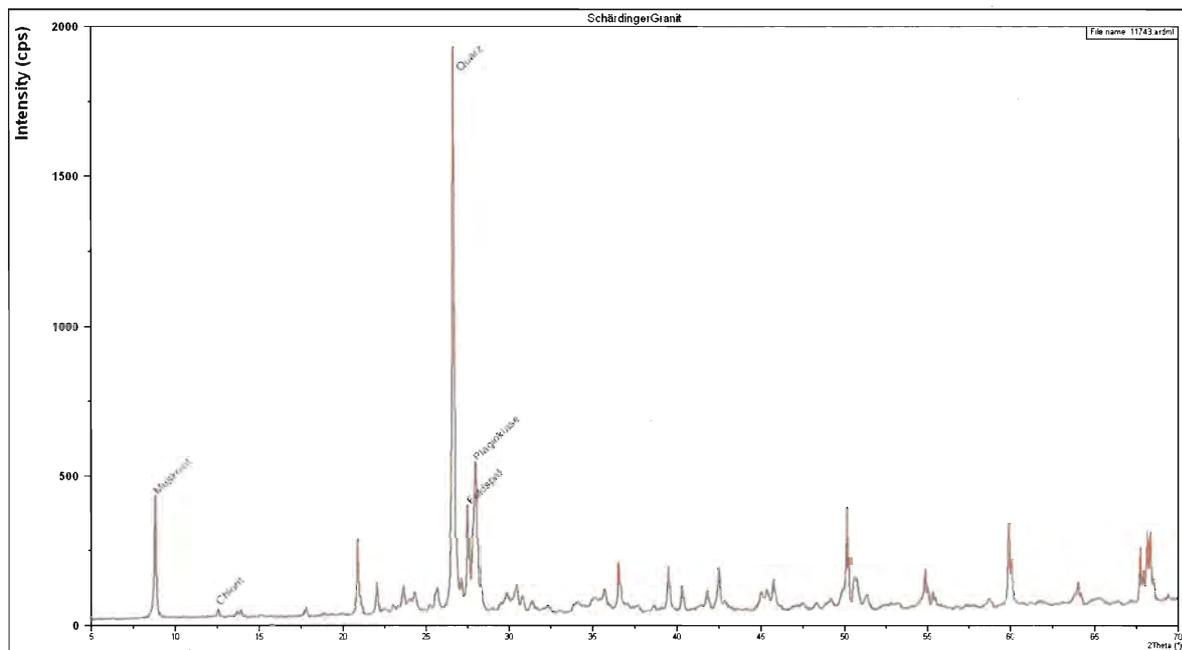


Abbildung 10-112: Röntgendiffraktogramm 11743

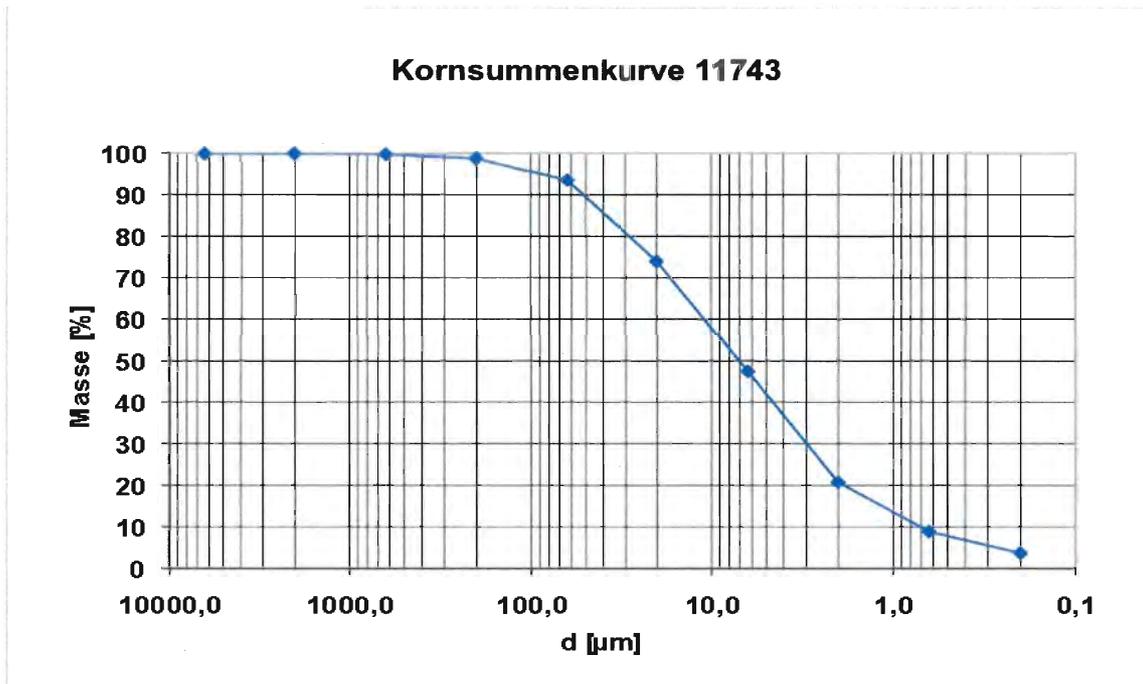


Abbildung 10-113: Kornsummenkurve 11743

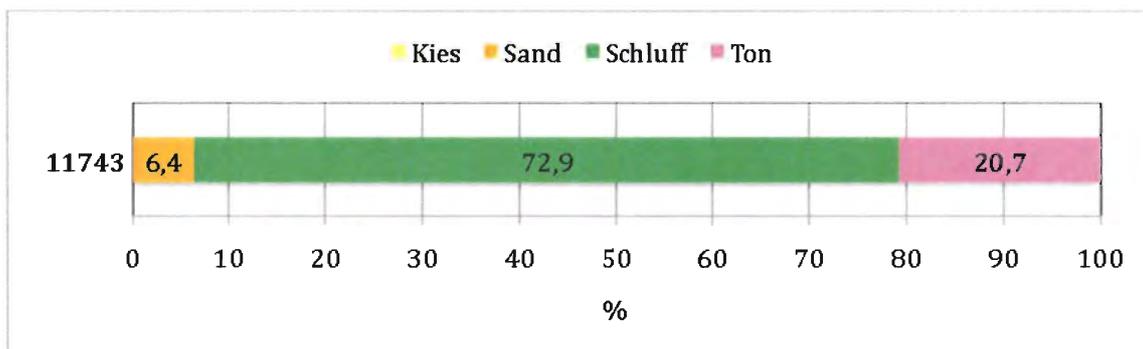


Abbildung 10-114: Kornverteilung 11743

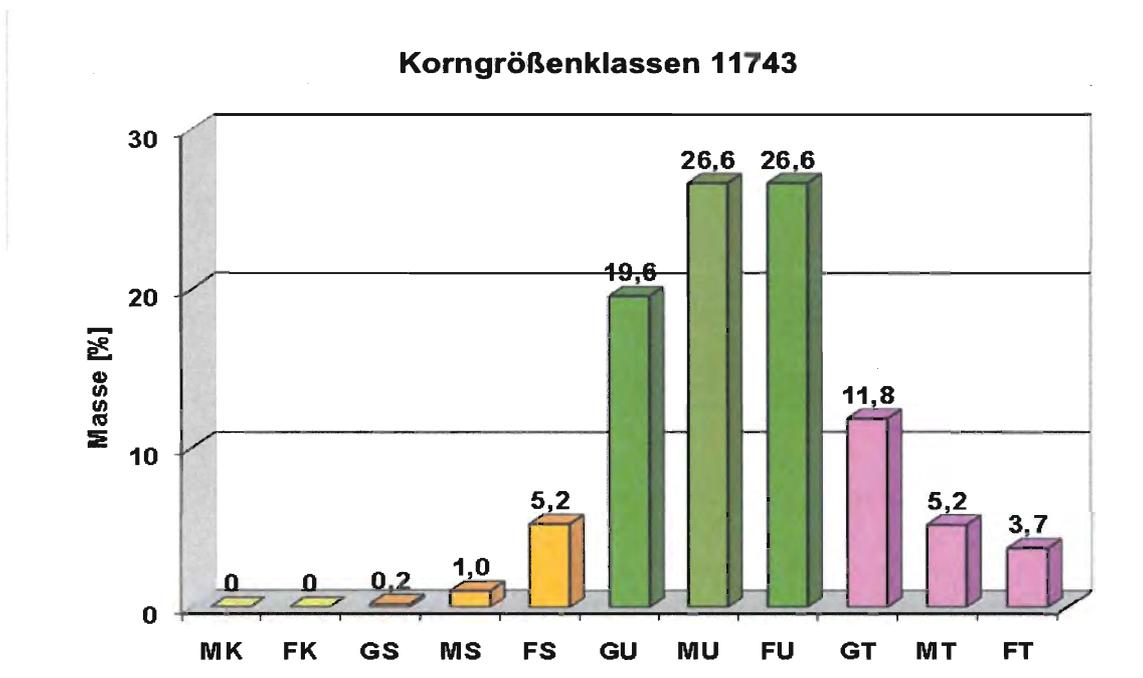


Abbildung 10-115: Korngrößenklassen 11743

Steinbruch: **Josef Widy's Söhne Steinmetzmeister GmbH**
Hartberg 1
3943 Schrems
Niederösterreich

LAG-Labor Nr.: 11791

Mineralogie:

Hauptbestandteile: Glimmer, Quarz, Kalifeldspat, Plagioklase

Nebenbestandteile: -

in Spuren vorhanden: Chlorit

Kalzitgehalt: - %

Dolomitgehalt: - %

Messwerte:

pH-Wert: 8,0

elektr. Leitfähigkeit: 107 $\mu\text{S/cm}$



Abbildung 10-116: Steinmehl 11791

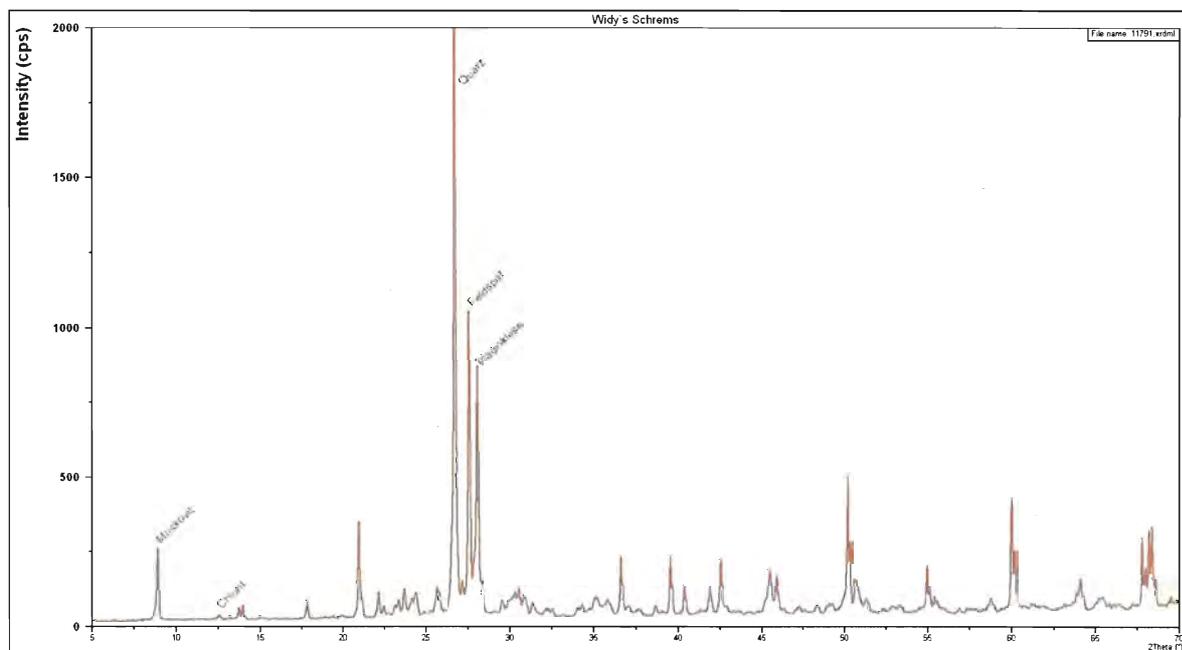


Abbildung 10-117: Röntgendiffraktogramm 11791

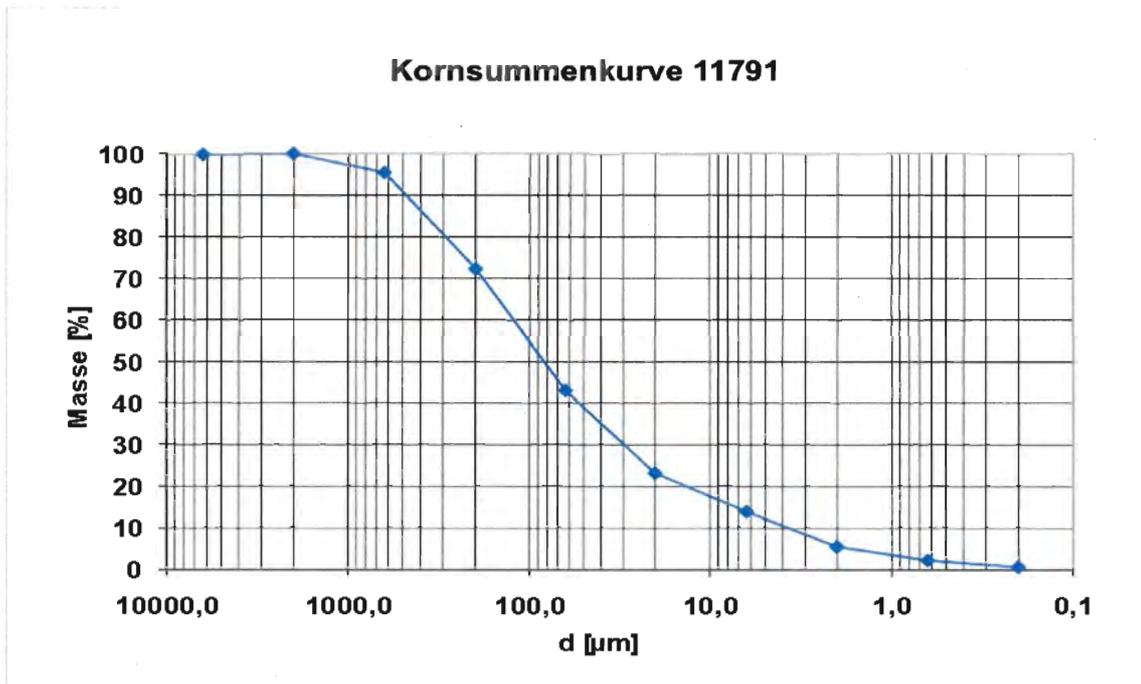


Abbildung 10-118: Kornsummenkurve 11791

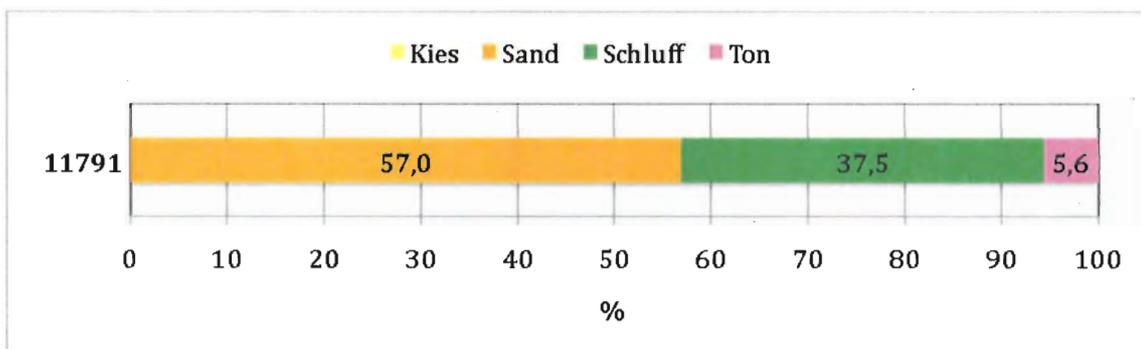


Abbildung 10-119: Kornverteilung 11791

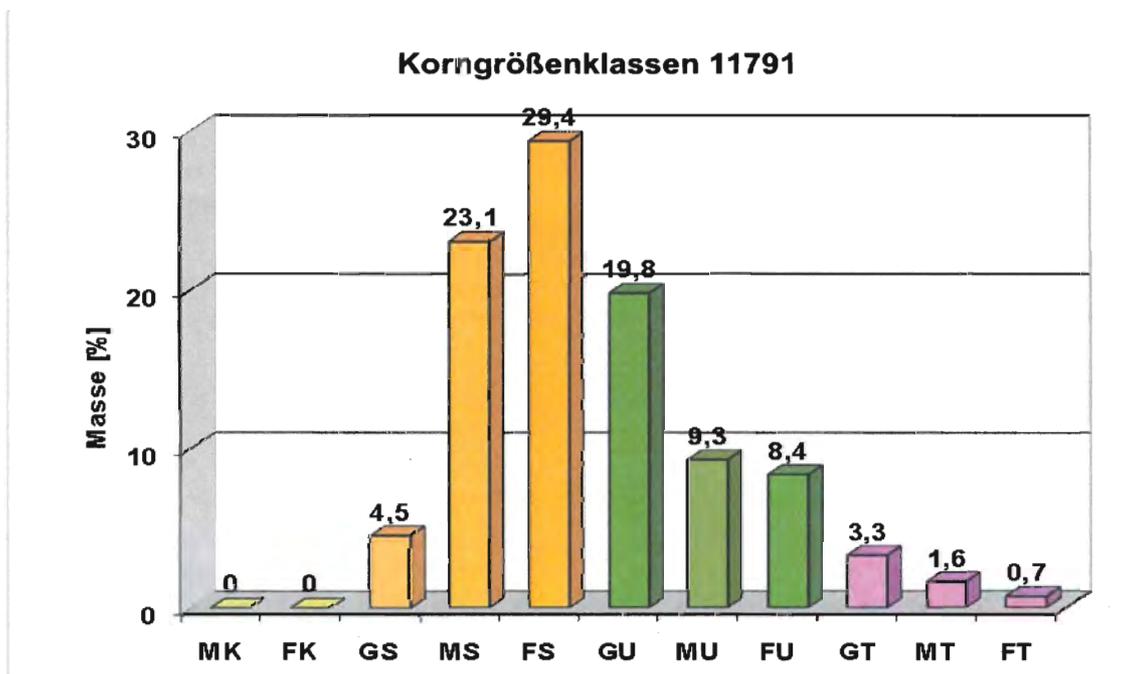


Abbildung 10-120: Korngrößenklassen 11791

Steinbruch: **Kärntner Montanindustrie Gesellschaft m.b.H.**
Schloß 1
9400 Wolfsberg
Kärnten
www.kmi.at
IAG-Labor Nr.: 11835

Mineralogie:
Hauptbestandteile: Dolomit
Nebenbestandteile: Chlorit, Quarz
in Spuren vorhanden: Glimmer, Kalzit
Kalzitgehalt: 6 %
Dolomitgehalt: 25 %

Messwerte:
pH-Wert: 8,2
elektr. Leitfähigkeit: 364 $\mu\text{S/cm}$



Abbildung 10-121: Steinmehl 11835

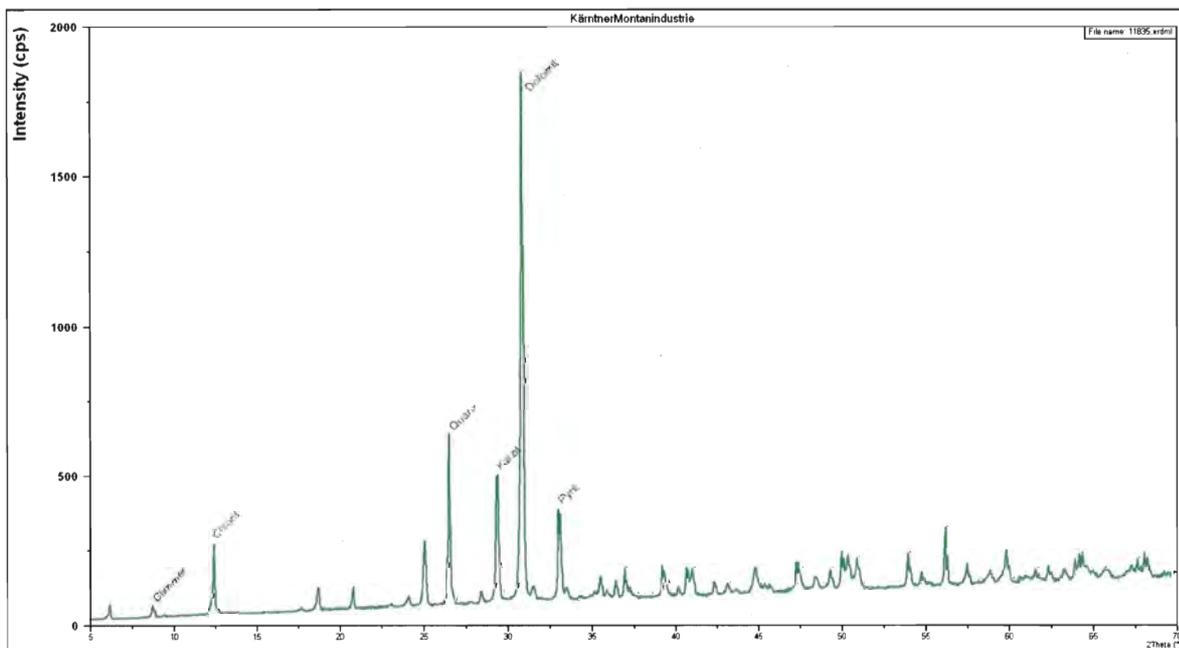


Abbildung 10-122: Röntgendiffraktogramm 11835

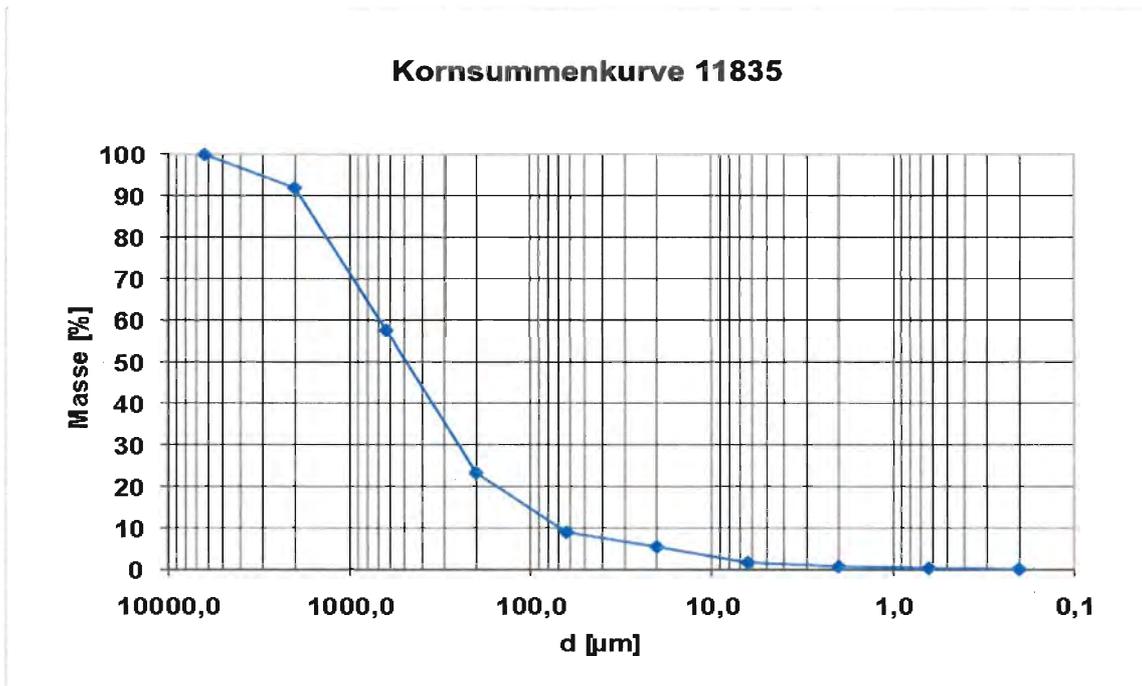


Abbildung 10-123: Kornsummenkurve 11835

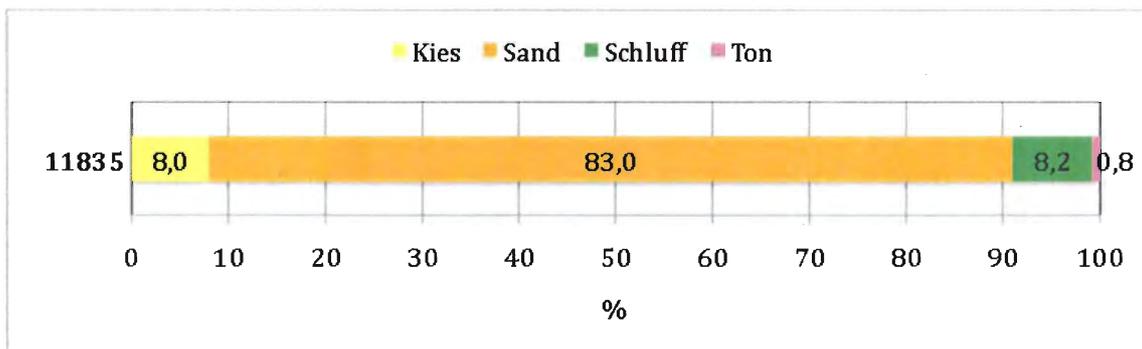


Abbildung 10-124: Kornverteilung 11835

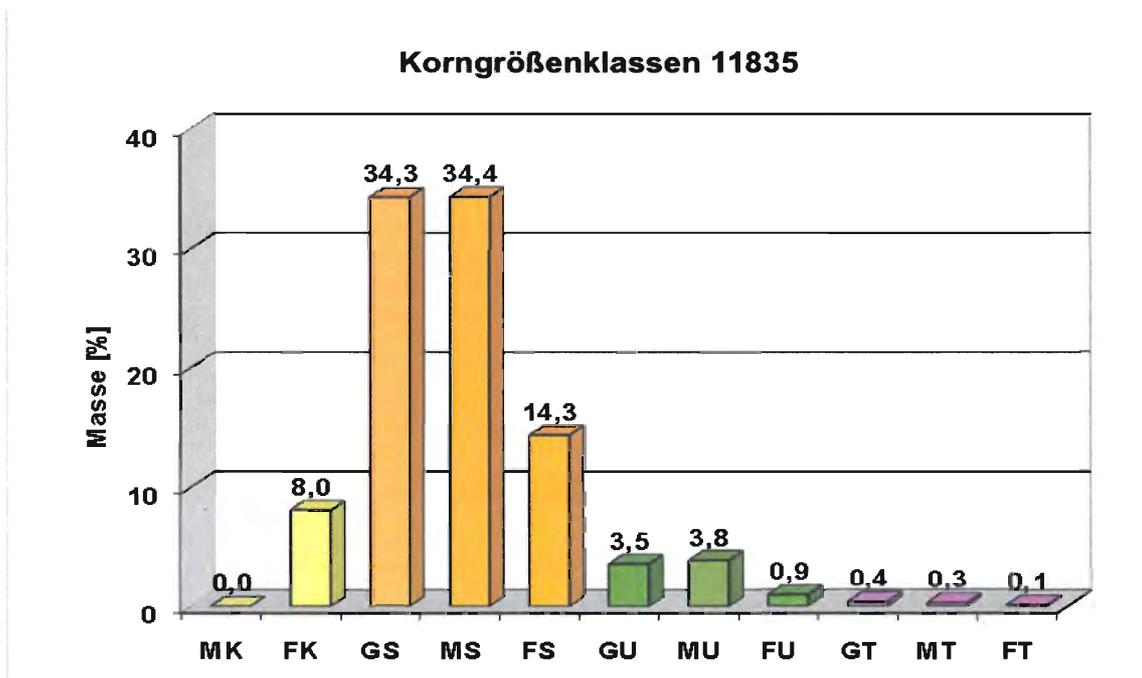


Abbildung 10-125: Korngrößenklassen 11835

Steinbruch: Bella Flora Gesteinsmehl
Verkaufsstelle

IAG-Labor Nr.: 11837

Mineralogie:

Hauptbestandteile: Plagioklase
Nebenbestandteile: Chlorit, Pyroxene, Quarz
in Spuren vorhanden: Glimmer, Amphibolit
Kalzitgehalt: - %
Dolomitgehalt: - %

Messwerte:

pH-Wert: 8,1
elektr. Leitfähigkeit: 166 $\mu\text{S}/\text{cm}$



Abbildung 10-126: Steinmehl 11837

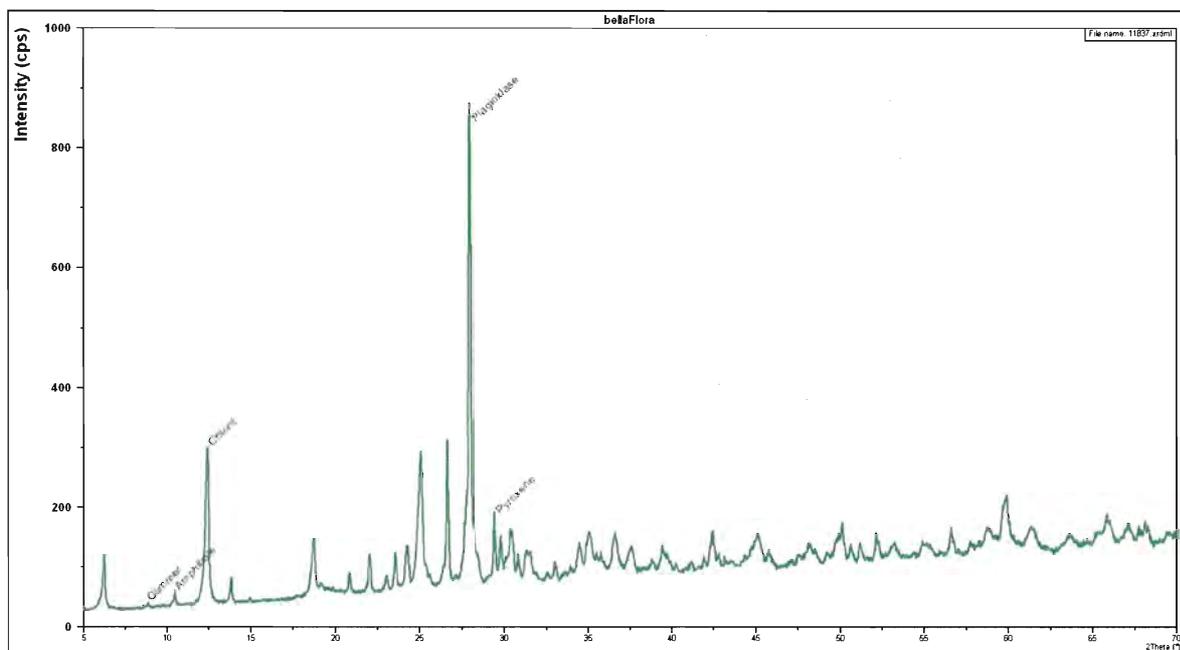


Abbildung 10-127: Röntgendiffraktogramm 11837

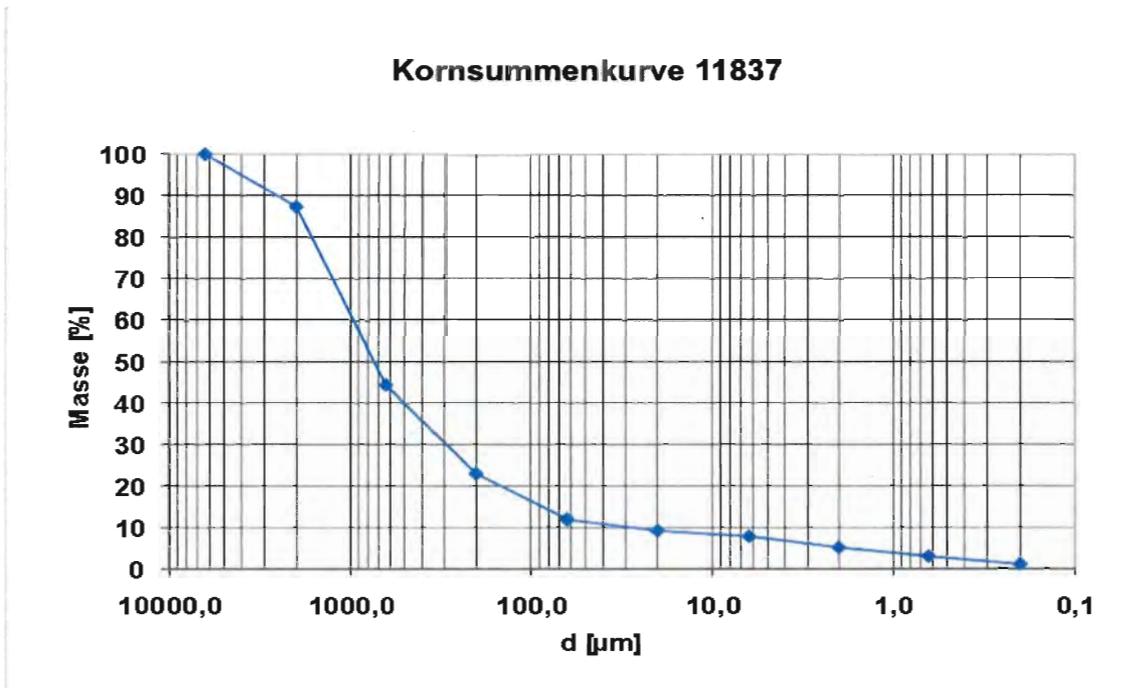


Abbildung 10-128: Kornsummenkurve 11837

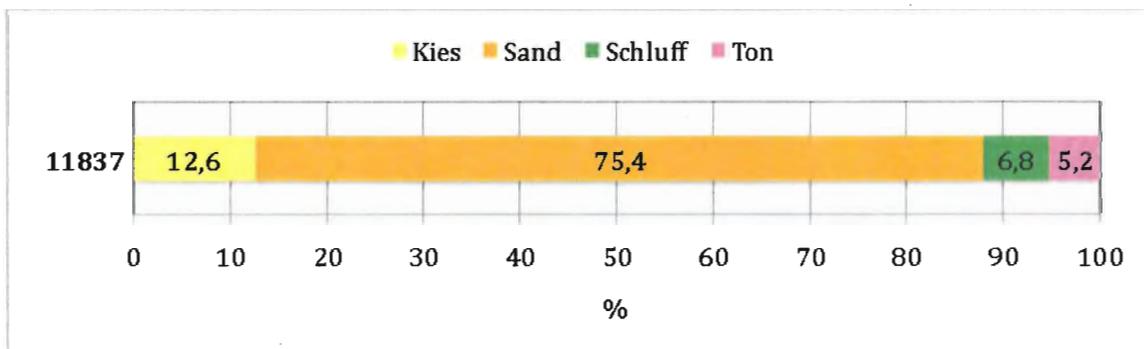


Abbildung 10-129: Kornverteilung 11837

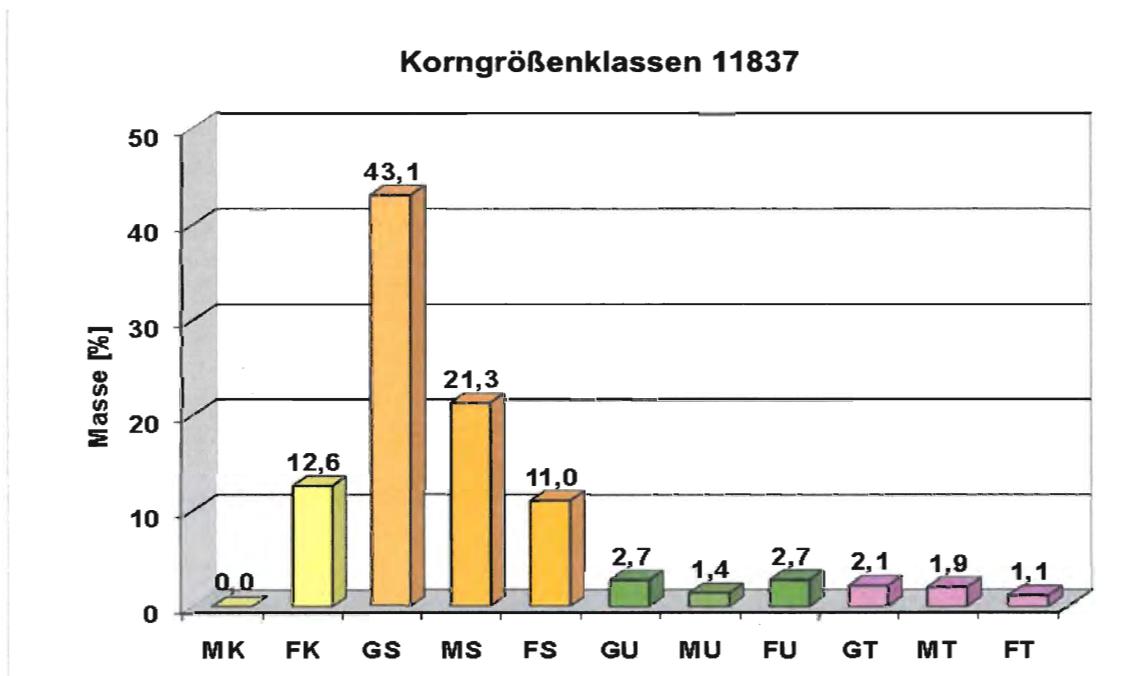


Abbildung 10-130: Korngrößenklassen 11837

Steinbruch: **Baumeister Ing. Peter Keckeis Ges.m.b.H.**
Torkelweg 7
6832 Röthis
Vorarlberg
www.keckeis.co.at/
IAG-Labor Nr.: 11838

Mineralogie:
Hauptbestandteile: Kalzit
Nebenbestandteile: -
in Spuren vorhanden: Quarz
Kalzitgehalt: 99 %
Dolomitgehalt: - %

Messwerte:
pH-Wert: 8,1
elektr. Leitfähigkeit: 187 $\mu\text{S/cm}$



Abbildung 10-131: Steinmehl 11838

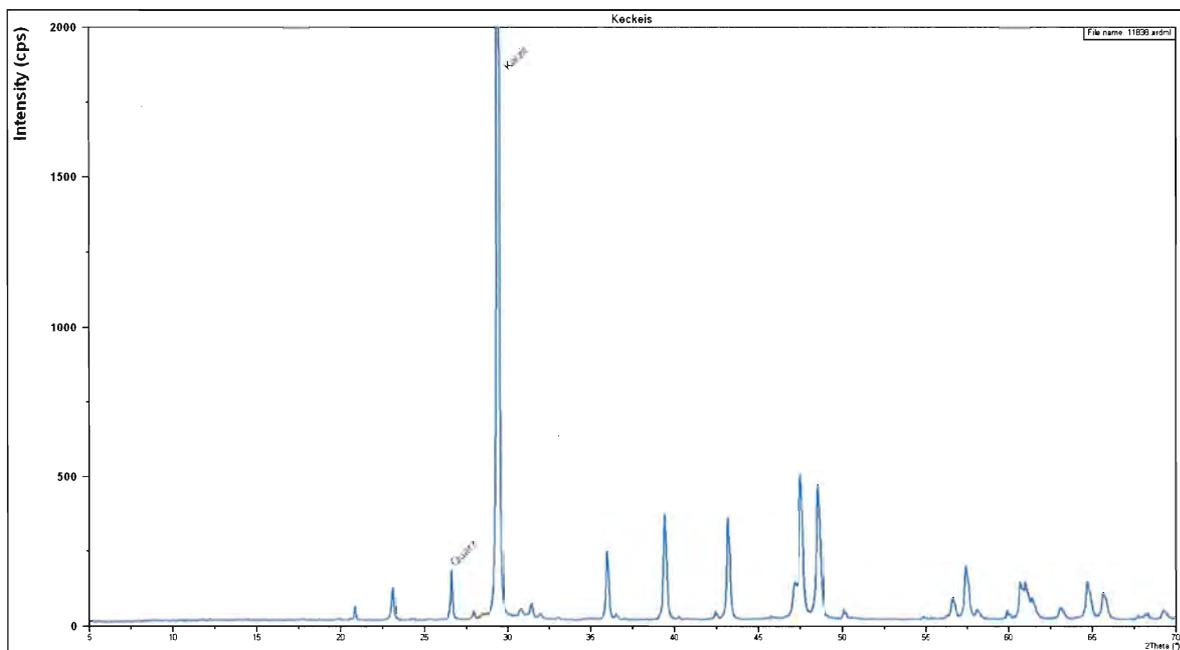
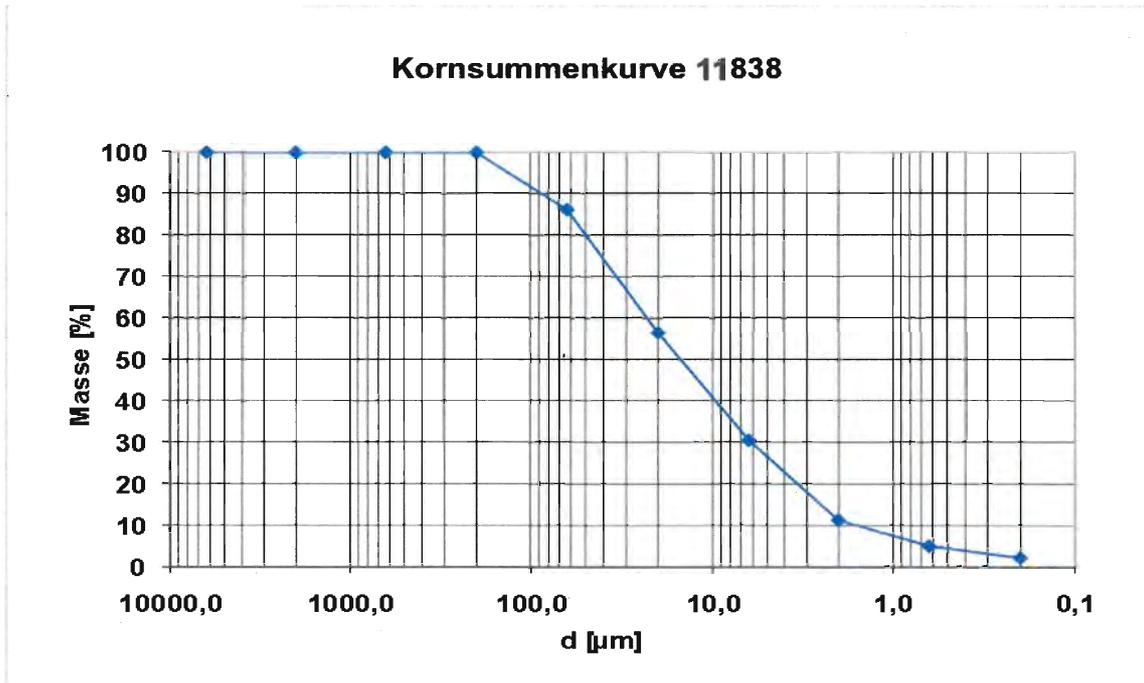


Abbildung 10-132: Röntgendiffraktogramm 11838



Steinbruch: **Plattner u. Co. Kalkwerk Zirl in Tirol GmbH**
Martinsbühel 5
6170 Zirl
Tirol
www.plattner.co.at
IAG-Labor Nr.: 11839

Mineralogie:
Hauptbestandteile: Kalzit
Nebenbestandteile: Dolomit
in Spuren vorhanden: Glimmer, Chlorit, Quarz
Kalzitgehalt: 62 %
Dolomitgehalt: 36 %

Messwerte:
pH-Wert: 8,4
elektr. Leitfähigkeit: 170 $\mu\text{S/cm}$



Abbildung 10-136: Steinmehl 11839

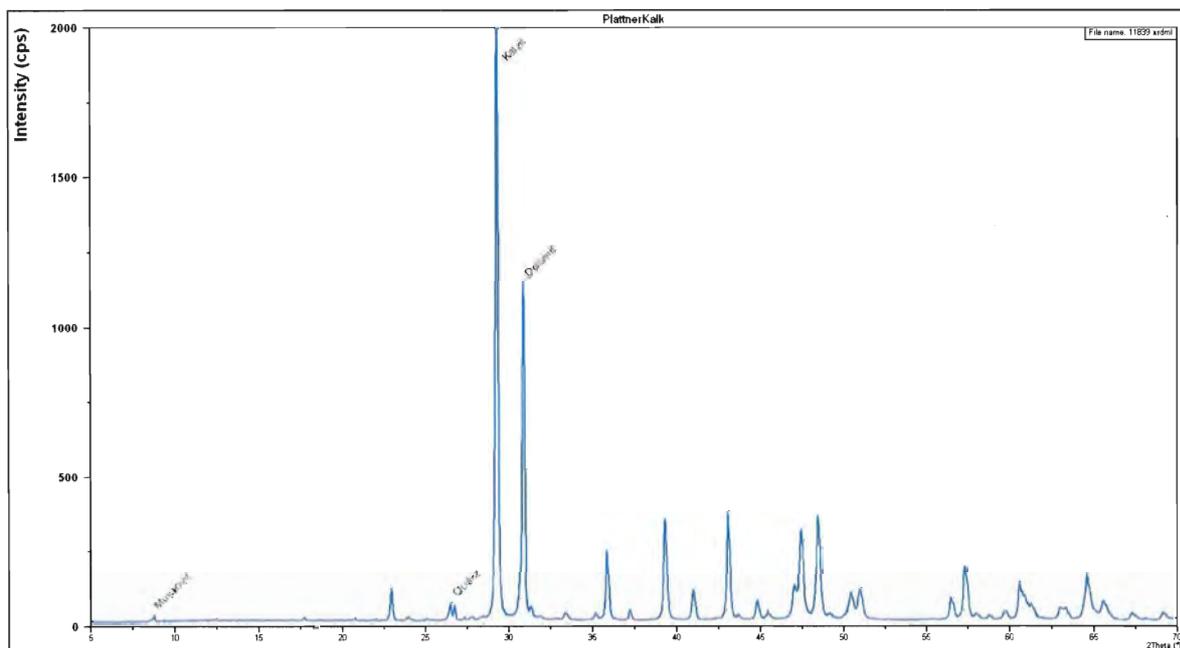


Abbildung 10-137: Röntgendiffraktogramm 11839

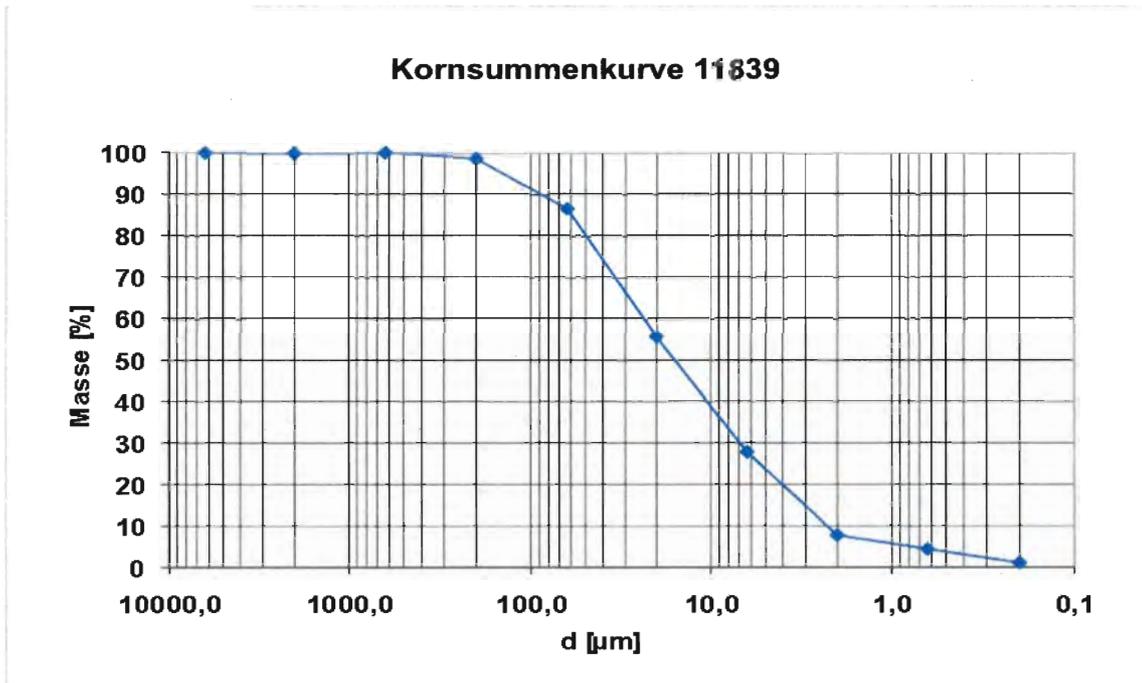


Abbildung 10-138: Kornsummenkurve 11839

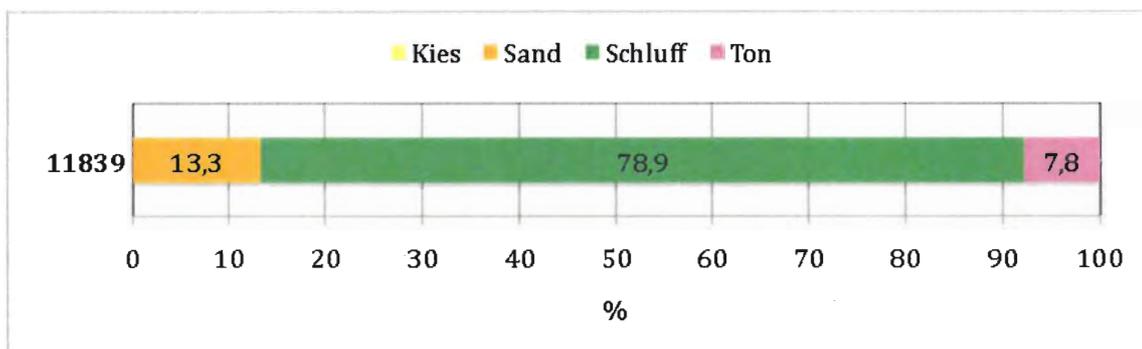


Abbildung 10-139: Kornverteilung 11839

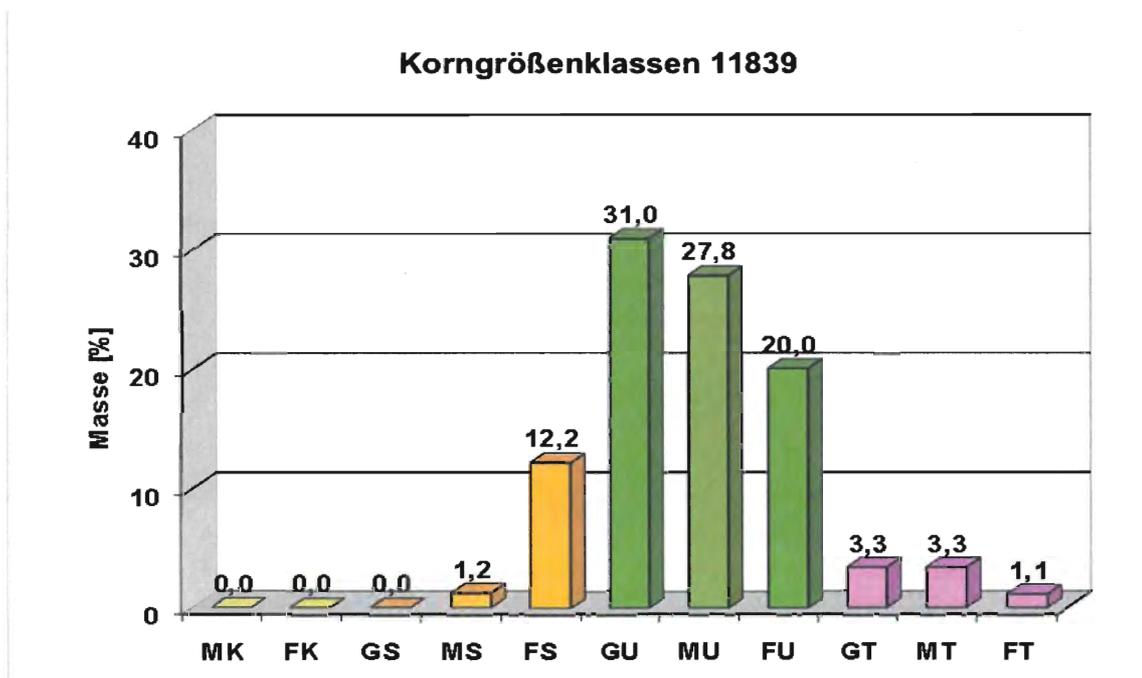


Abbildung 10-140: Korngrößenklassen 11839

Steinbruch: Basaltwerke Pauliberg

7341 St. Martin
Burgenland
www.pauliberg.at
IAG-Labor Nr.: 11840

Mineralogie:

Hauptbestandteile: Pyroxene, Plagioklase

Nebenbestandteile: Glimmer

in Spuren vorhanden: Olivin, Magnetite

Kalzitgehalt: - %

Dolomitgehalt: - %

Messwerte:

pH-Wert: 7,8

elektr. Leitfähigkeit: 79 $\mu\text{S/cm}$



Abbildung 10-141: Steinmehl 11840

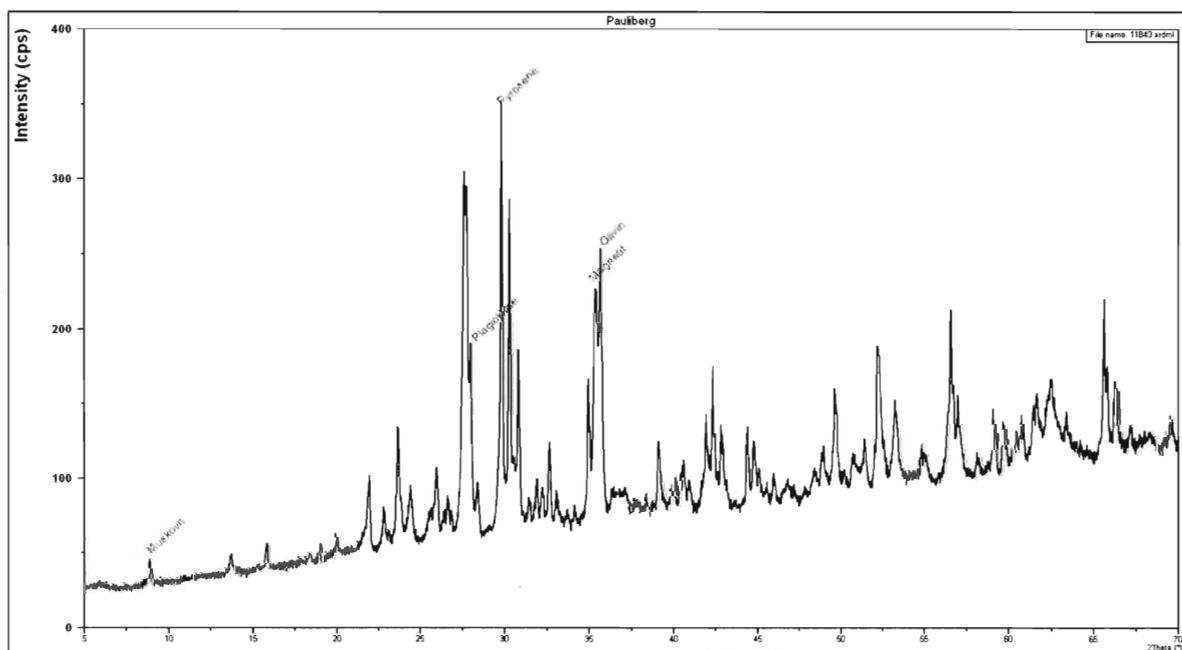


Abbildung 10-142: Röntgendiffraktogramm 11840

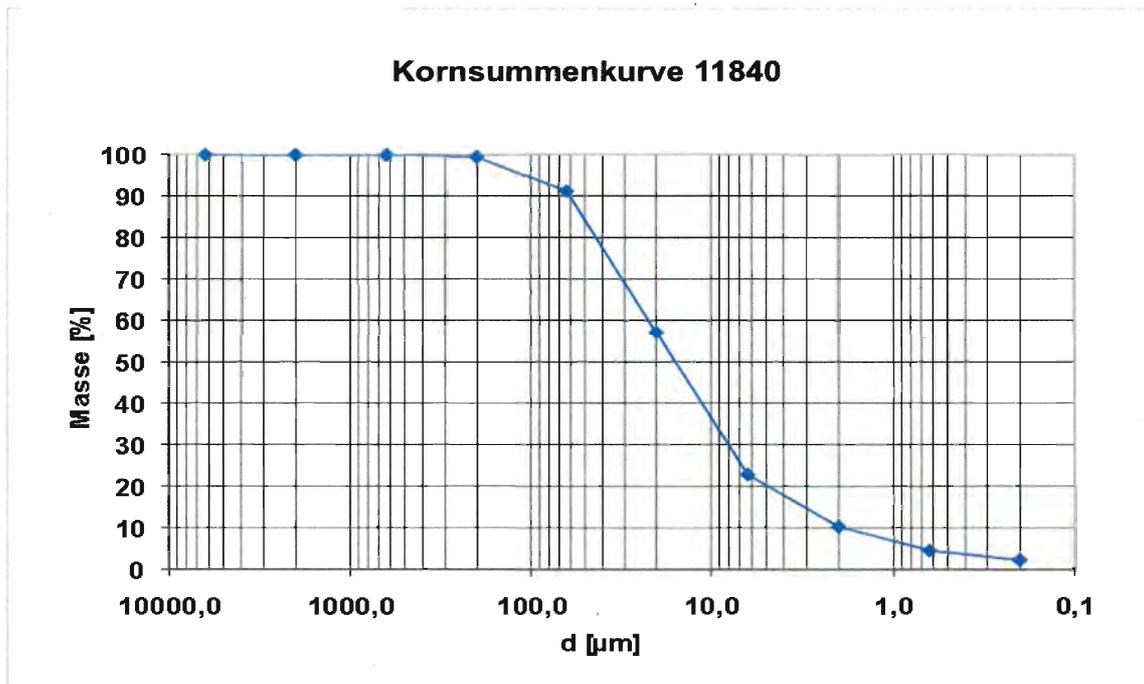


Abbildung 10-143: Kornsummenkurve 11840

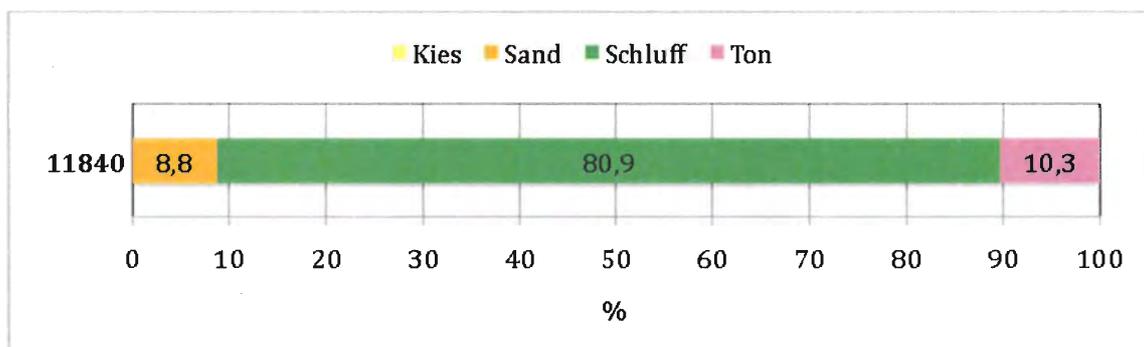


Abbildung 10-144: Kornverteilung 11840

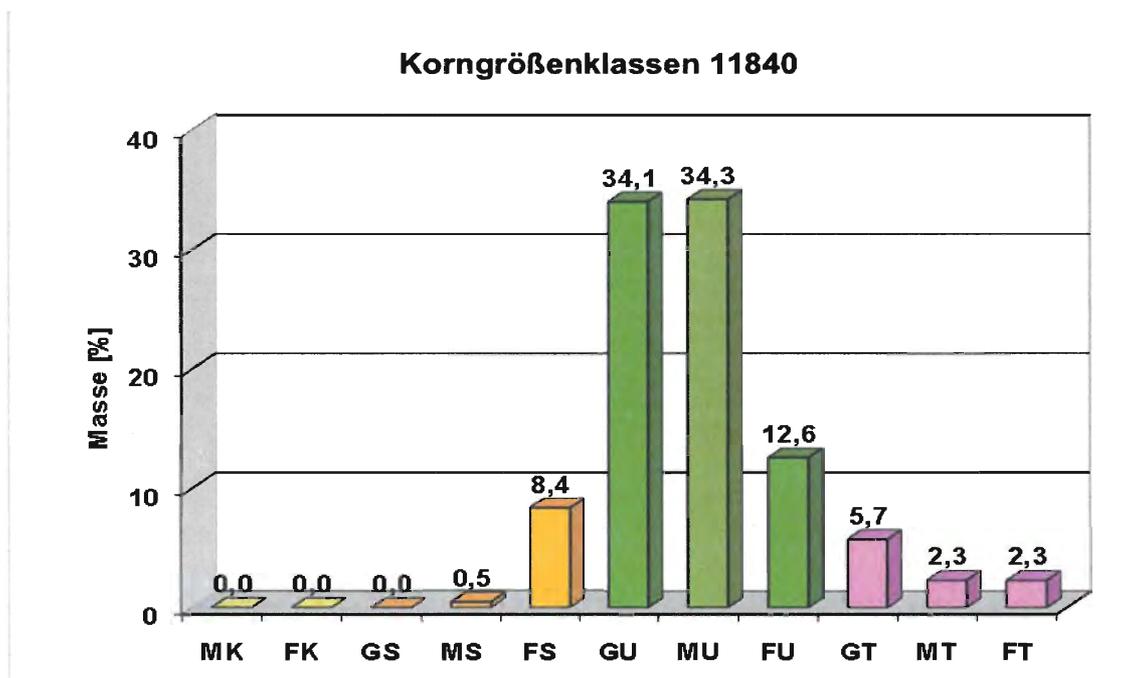


Abbildung 10-145: Korngrößenklassen 11840

Steinbruch: HENGL Schotter-Asphalt-Recycling GmbH

Hauptstr. 39
3721 Limberg
Niederösterreich
www.hengl.at
IAG-Labor Nr.: 11908

Mineralogie:

Hauptbestandteile: Quarz, Kalifeldspat, Plagioklase

Nebenbestandteile: Glimmer, Chlorit

in Spuren vorhanden: -

Kalzitgehalt: - %

Dolomitgehalt: - %

Messwerte:

pH-Wert: 8,4

elektr. Leitfähigkeit: 140 $\mu\text{S}/\text{cm}$



Abbildung 10-146: Steinmehl 11908

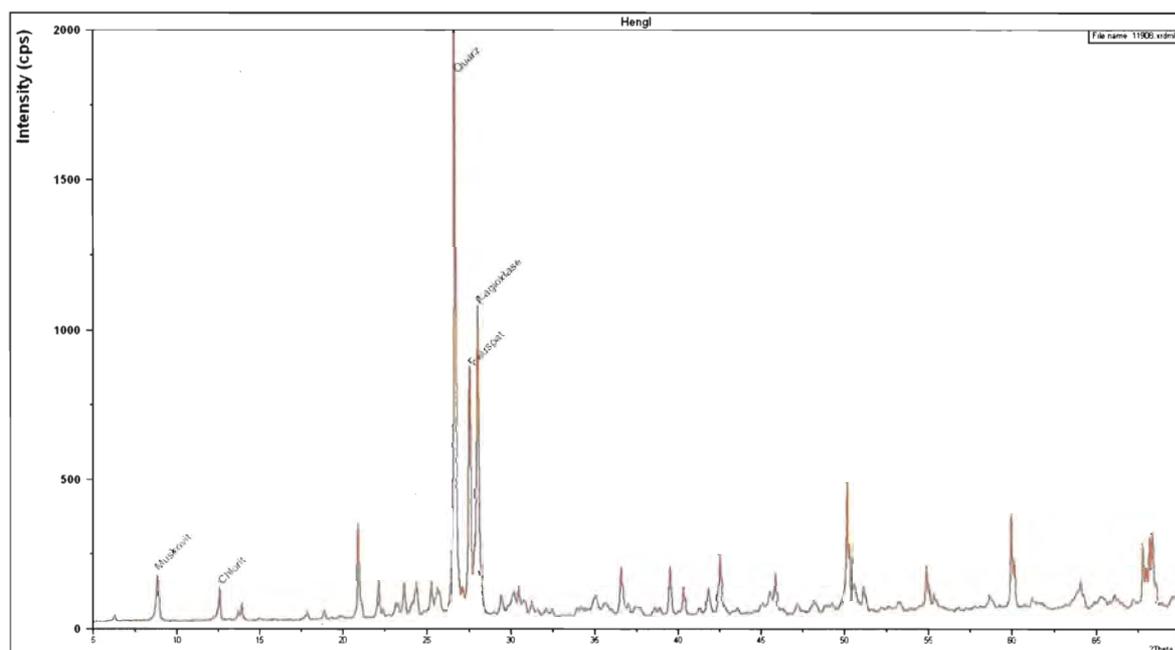


Abbildung 10-147: Röntgendiffraktogramm 11908

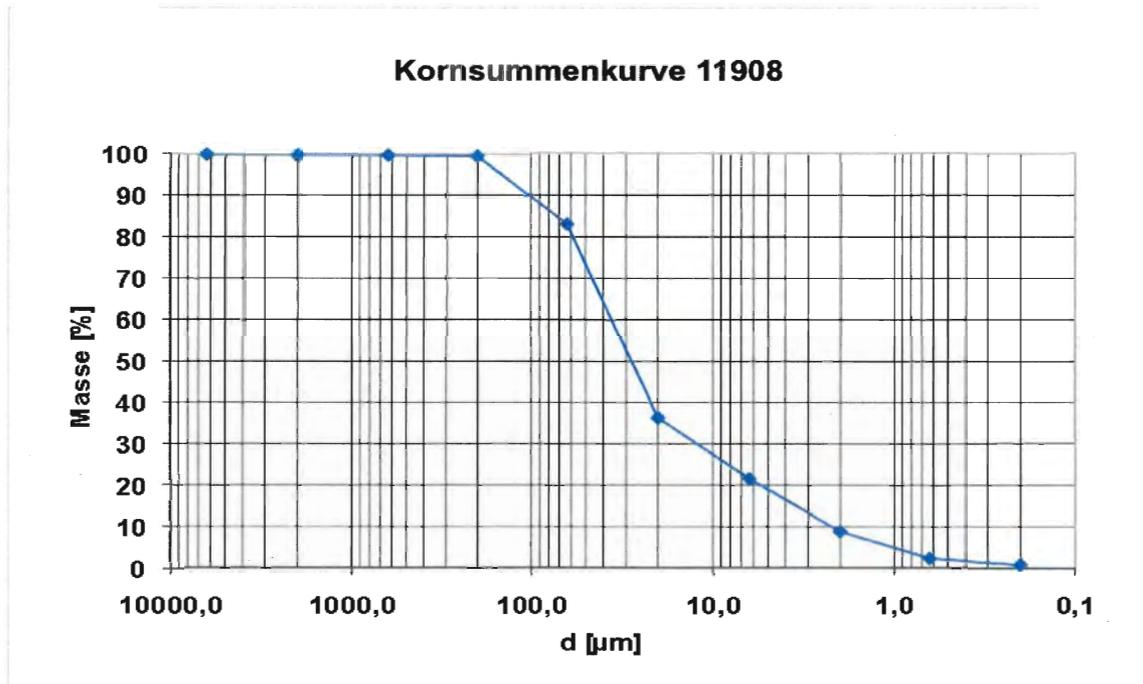


Abbildung 10-148: Kornsummenkurve 11908

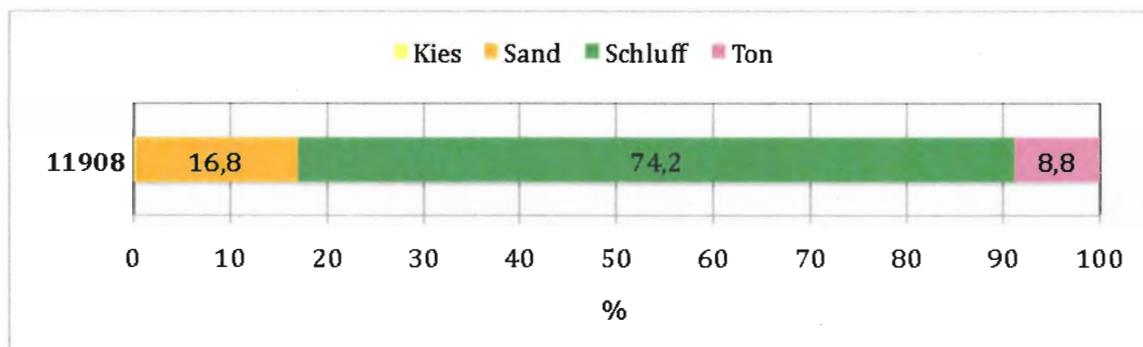


Abbildung 10-149: Kornverteilung 11908

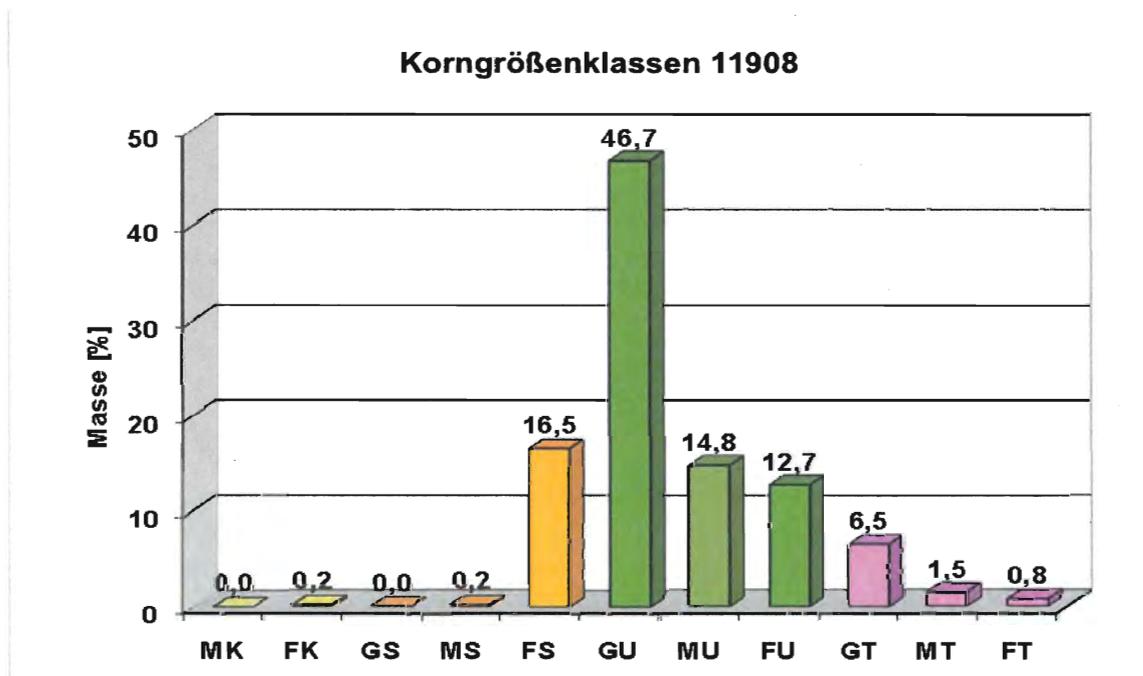


Abbildung 10-150: Korngrößenklassen 11908

Steinbruch: Gesteinsmehl Aspanger

Neustift am Hartberg
2870 Aspang
Niederösterreich
www.aspangerbergbau.at
IAG-Labor Nr.: 11961

Mineralogie:

Hauptbestandteile: Quarz
Nebenbestandteile: Glimmer, Plagioklase
in Spuren vorhanden: Eisenoxide
Kalzitgehalt: - %
Dolomitgehalt: - %

Messwerte:

pH-Wert: 7,8
elektr. Leitfähigkeit: 395 $\mu\text{S}/\text{cm}$



Abbildung 10-151: Steinmehl 11961

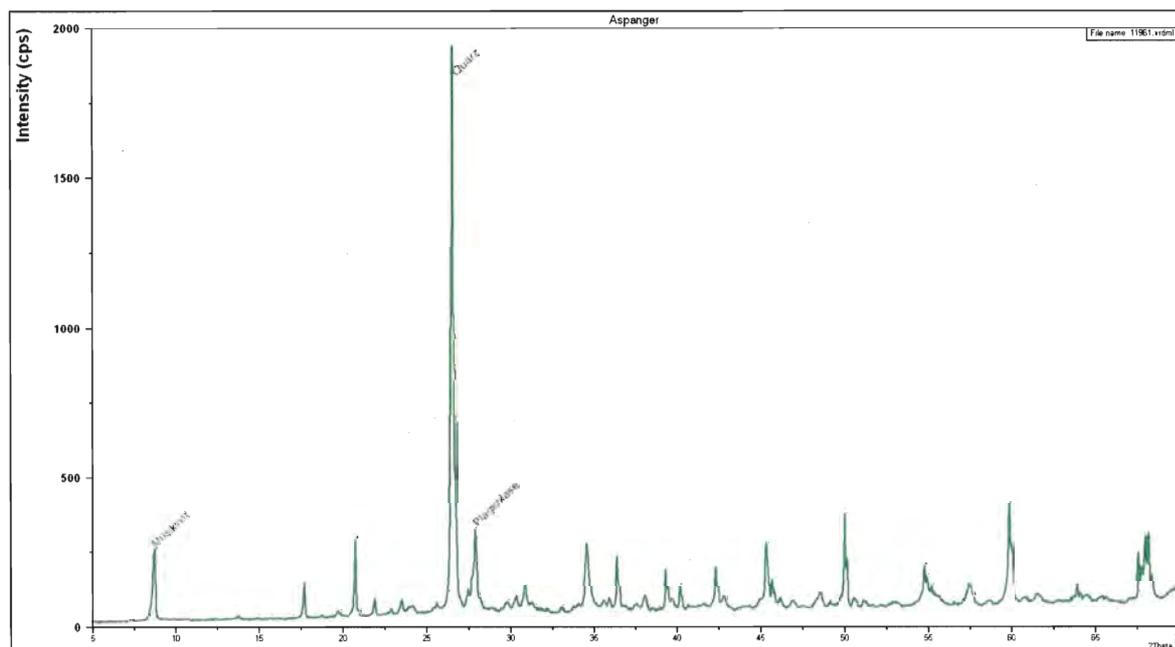
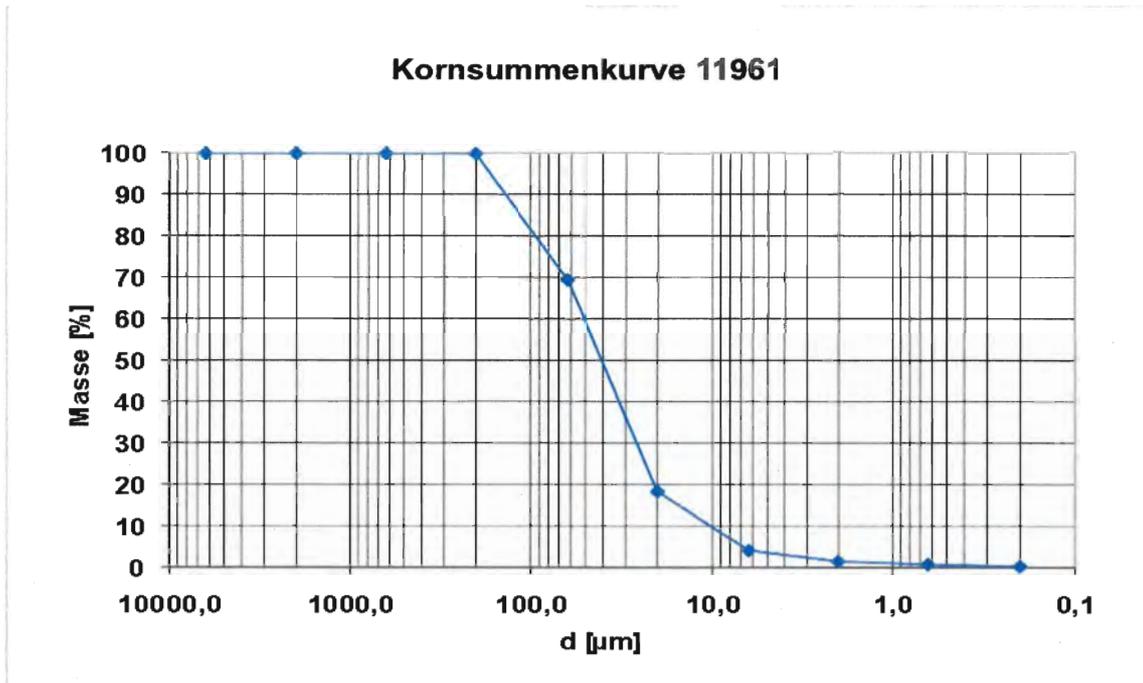


Abbildung 10-152: Röntgendiffraktogramm 11961



Steinbruch: Gesteinsmehl Klöch

Klöch 71
8493 Klöch
Steiermark

IAG-Labor Nr.: 11962

Mineralogie:

Hauptbestandteile: Pyroxene, Plagioklase
Nebenbestandteile: Nepheline
in Spuren vorhanden: Glimmer, Olivin, Magnetite
Kalzitgehalt: - %
Dolomitgehalt: - %

Messwerte:

pH-Wert: 8,0
elektr. Leitfähigkeit: 131 $\mu\text{S/cm}$



Abbildung 10-156: Steinmehl 11962

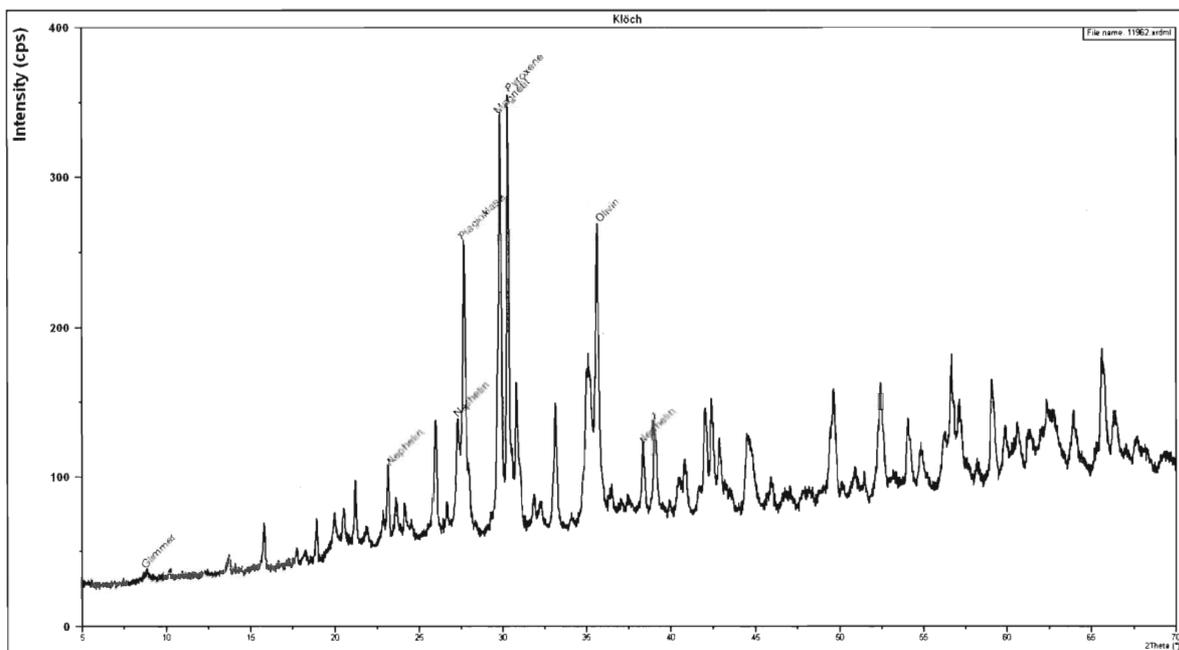


Abbildung 10-157: Röntgendiffraktogramm 11962

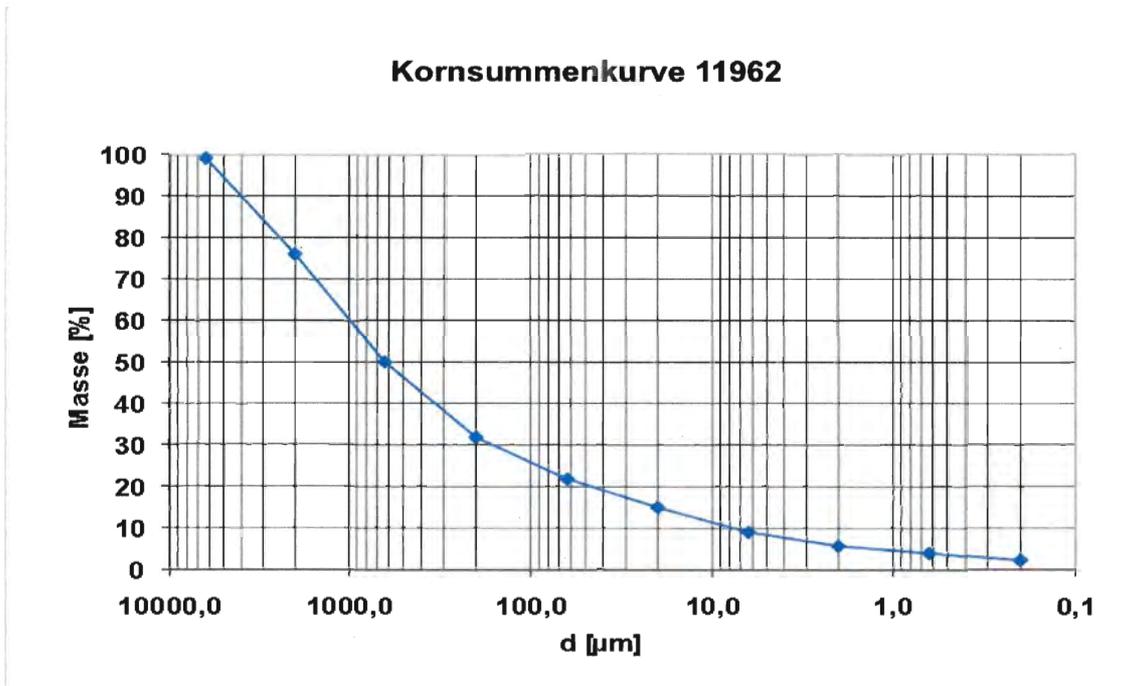


Abbildung 10-158: Kornsummenkurve 11962

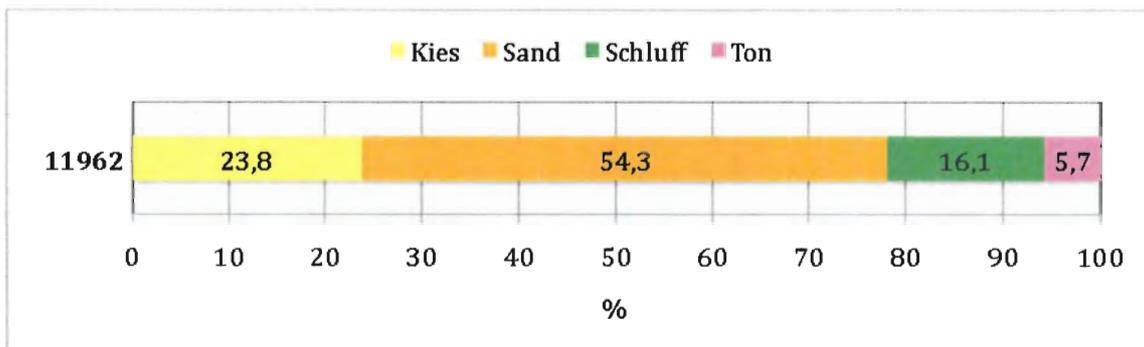


Abbildung 10-159: Kornverteilung 11962

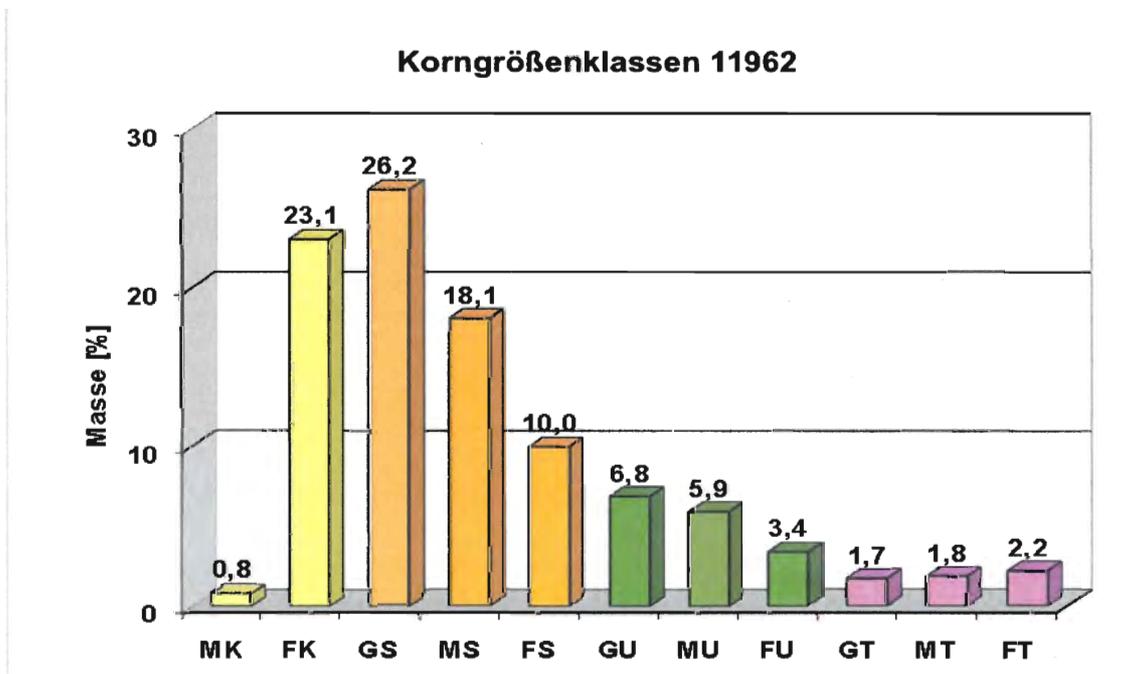


Abbildung 10-160: Korngrößenklassen 11962

Steinbruch: **Brüder Rath Steinbrüche Ges.m.b.H.**
Wald 102
8510 Stainz
Steiermark
www.natursteine-rath.at
IAG-Labor Nr.: 11974

Mineralogie:
Hauptbestandteile: Quarz
Nebenbestandteile: Glimmer, Plagioklase
in Spuren vorhanden: -
Kalzitgehalt: - %
Dolomitgehalt: - %

Messwerte:
pH-Wert: 7,6
elektr. Leitfähigkeit: 353 $\mu\text{S}/\text{cm}$



Abbildung 10-161: Steinmehl 11974

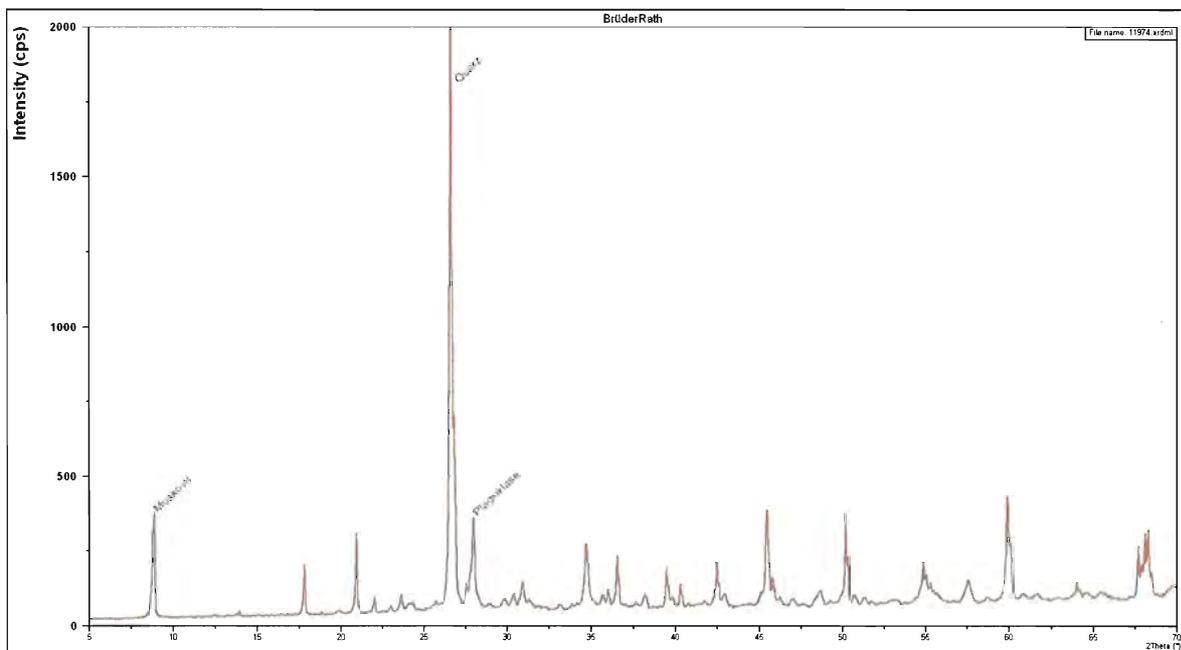


Abbildung 10-162: Röntgendiffraktogramm 11974

Steinbruch: Hartsteinwerk Kitzbühel G.m.b.H. Biolit
Franz Cervinka-Weg 3
6372 Oberndorf in Tirol
Tirol
www.hwk.at
IAG-Labor Nr.: 12118

Mineralogie:
Hauptbestandteile: Chlorit, Quarz, Plagioklase
Nebenbestandteile: -
in Spuren vorhanden: Glimmer, Kalzit, Dolomit
Kalzitgehalt: 2 %
Dolomitgehalt: 8 %

Messwerte:
pH-Wert: 8,3
elektr. Leitfähigkeit: 156 $\mu\text{S}/\text{cm}$



Abbildung 10-166: Steinmehl 12118

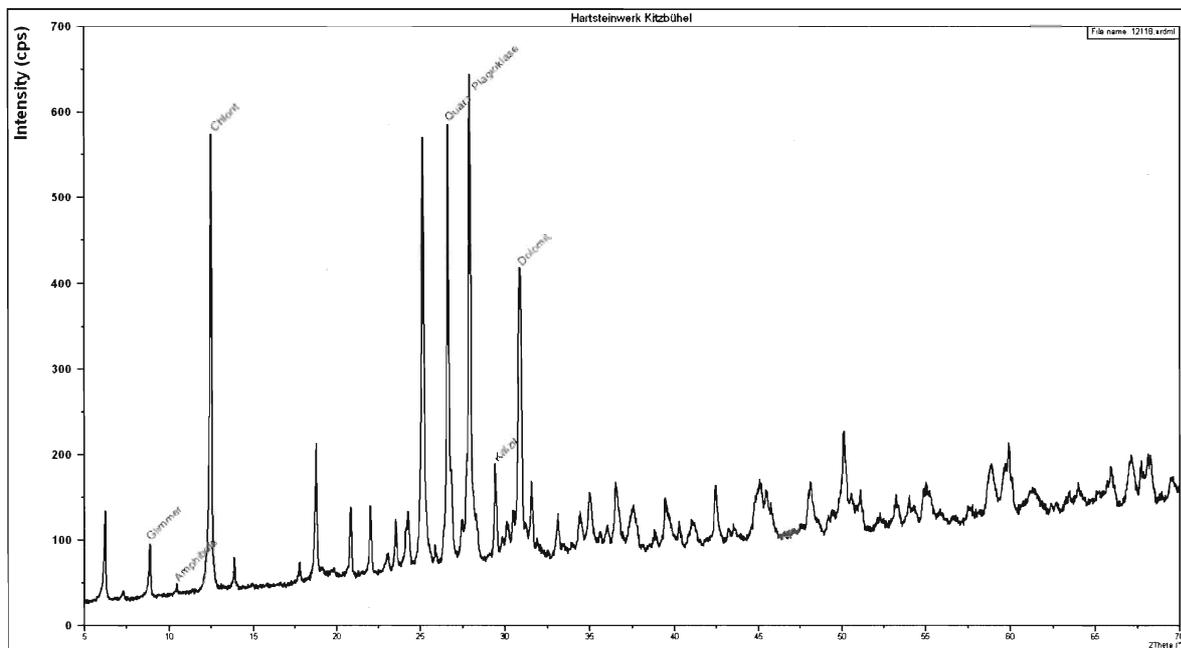
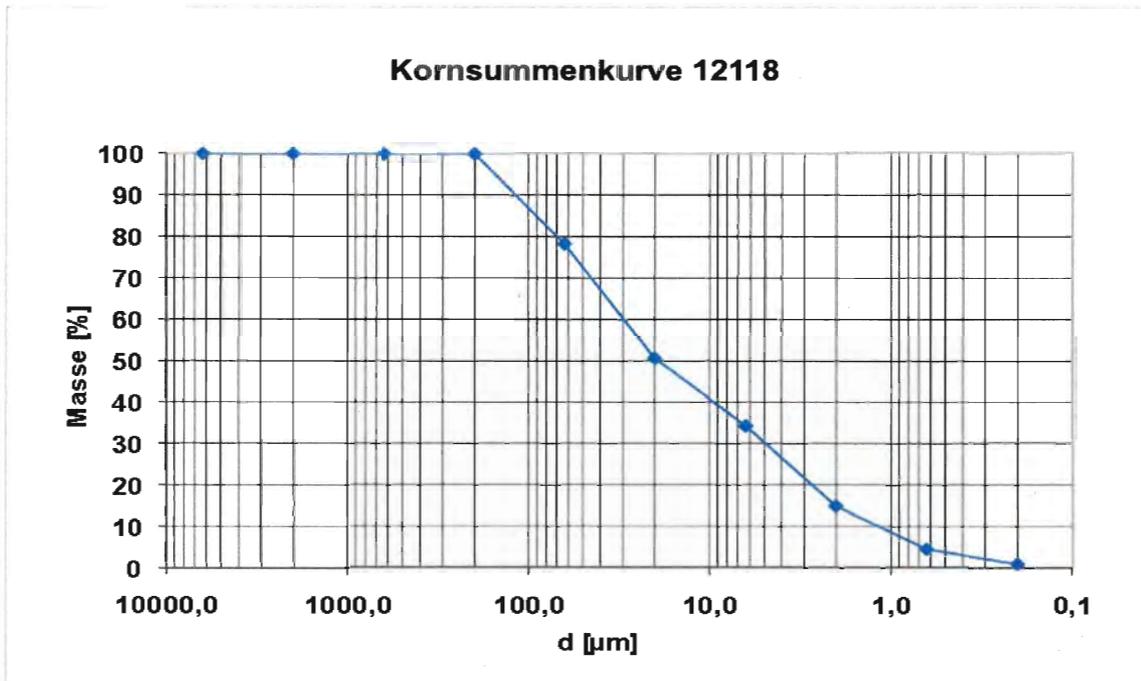


Abbildung 10-167: Röntgendiffraktogramm 12118



Steinbruch: up-Umwelt pionier GmbH

Aisthofen 25
4320 Perg
Oberösterreich
www.umweltpionier.at
IAG-Labor Nr.: 13622

Mineralogie:

Hauptbestandteile: Quarz
Nebenbestandteile: Glimmer, Kalifeldspat, Plagioklase, Kalzit
in Spuren vorhanden: Chlorit, Dolomit
Kalzitgehalt: 12 %
Dolomitgehalt: 5 %

Messwerte:

pH-Wert: 8,7
elektr. Leitfähigkeit: 405 µS/cm

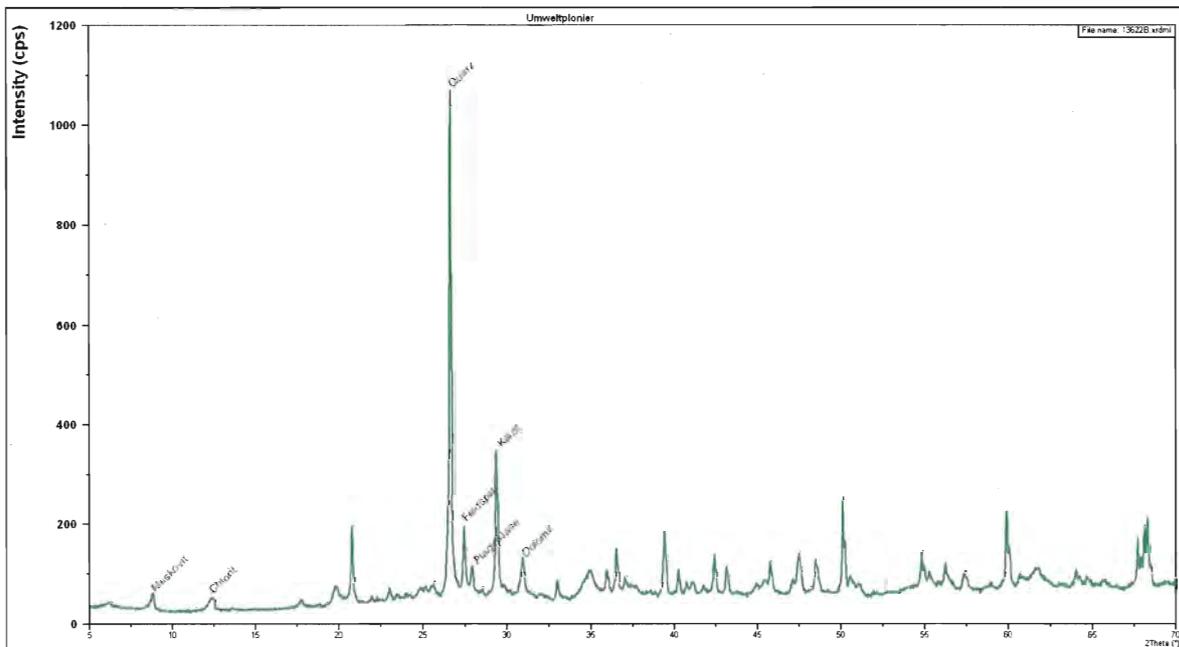


Abbildung 10-171: Röntgendiffraktogramm 13622

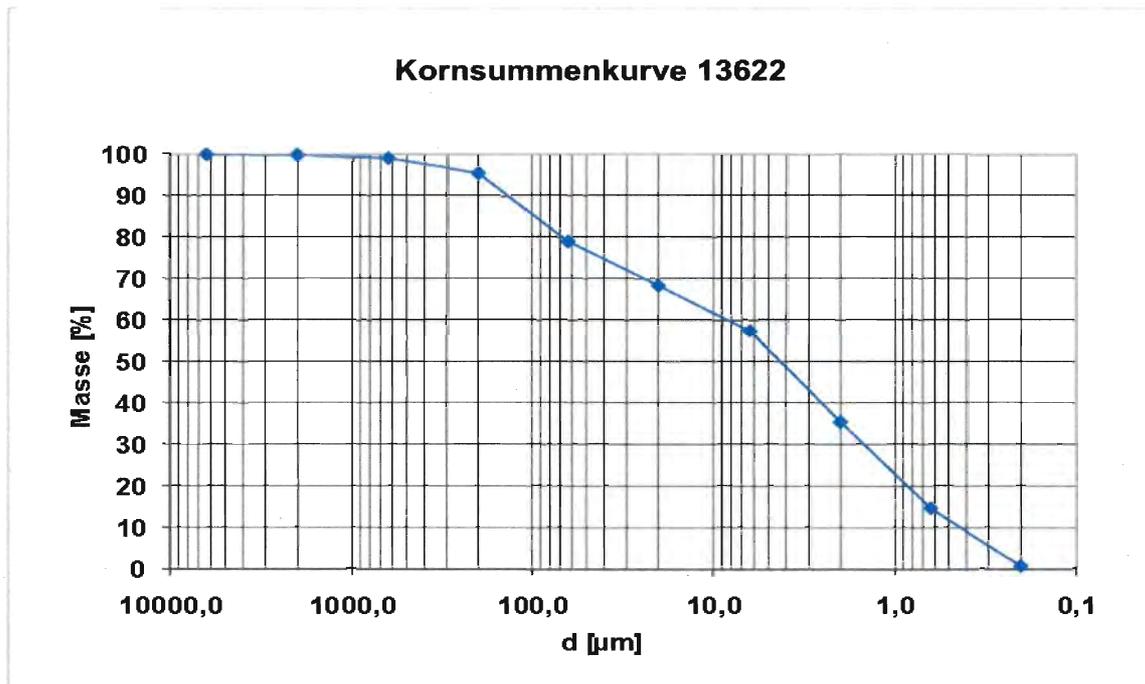


Abbildung 10-172: Kornsummenkurve 13622

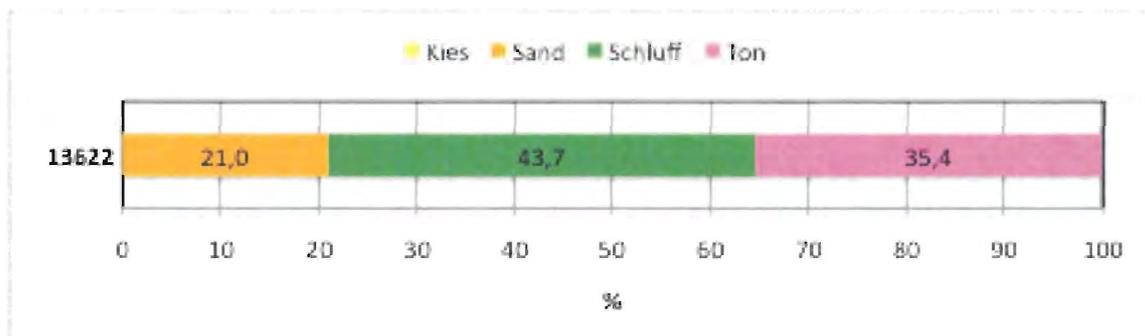


Abbildung 10-173: Kornverteilung 13622

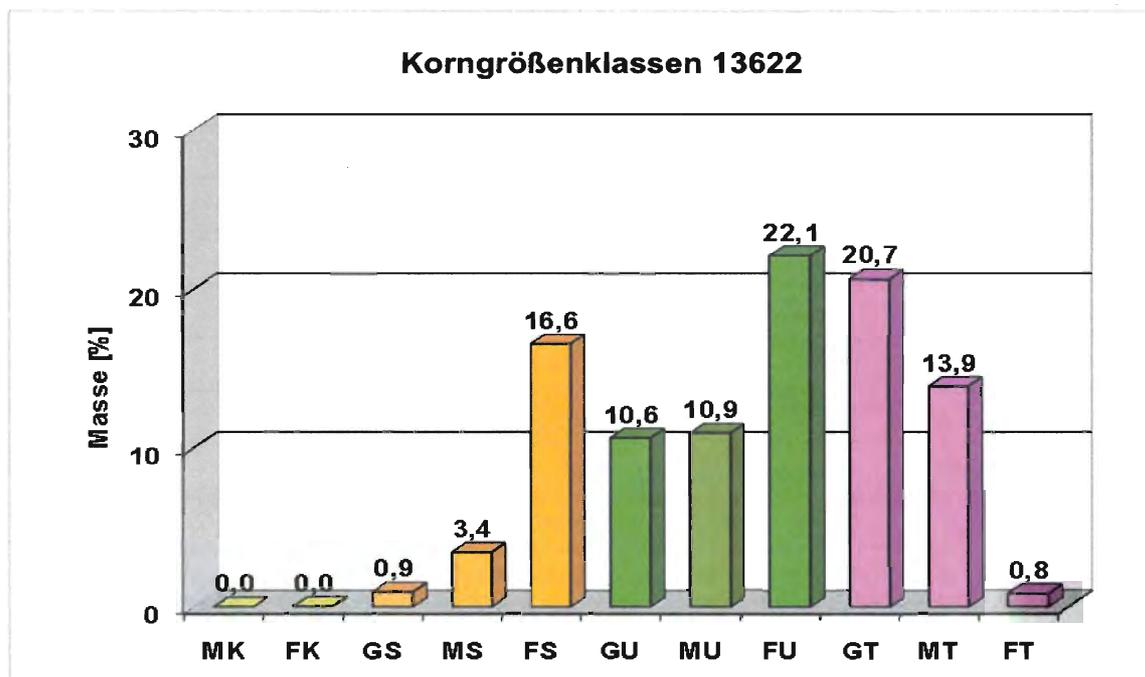


Abbildung 10-174: Korngrößenklassen 13622

Tabelle 10-1: Treibhausgaswerte Sonnenerde 5°C

Probennummer	mg CO ₂ -C m ⁻² h ⁻¹	µg NO ₂ -N m ⁻² h ⁻¹	µg NO ₂ -N m ⁻² h ⁻¹	Steinmehl	Kompost	WFPS %	°C	Block
A_1_1_5	27,79	21,98	10,96	Aspanger	Sonnenerde	40	5	1
A_1_2_5	31,39	22,53	6,25	Aspanger	Sonnenerde	40	5	1
A_1_3_5	37,7	43,01	20,28	Aspanger	Sonnenerde	40	5	2
A_1_4_5	34,89	30,01	23,38	Aspanger	Sonnenerde	40	5	2
B_1_1_5	43,34	18,48	6,41	BellaFlora	Sonnenerde	40	5	1
B_1_2_5	57,84	20,99	5,1	BellaFlora	Sonnenerde	40	5	1
B_1_3_5	37,51	24,34	15,5	BellaFlora	Sonnenerde	40	5	2
B_1_4_5	53,81	24,35	16,99	BellaFlora	Sonnenerde	40	5	2
C_1_1_5	27,27	18,41	8,32	Immergruen	Sonnenerde	40	5	1
C_1_2_5	34,83	18,63	7,19	Immergruen	Sonnenerde	40	5	1
C_1_3_5	44,68	31,09	19,55	Immergruen	Sonnenerde	40	5	2
C_1_4_5	44,98	28,54	12,46	Immergruen	Sonnenerde	40	5	2
O_1_1_5	38,64	18,96	6,3	ohne	Sonnenerde	40	5	1
O_1_2_5	42,2	23,37	12,5	ohne	Sonnenerde	40	5	2
D_1_1_5	29,38	22,03	9,51	Pauliberg	Sonnenerde	40	5	1
D_1_2_5	38,71	23,25	7,33	Pauliberg	Sonnenerde	40	5	1
D_1_3_5	30,21	29,3	17,85	Pauliberg	Sonnenerde	40	5	2
D_1_4_5	38,76	32,22	24,09	Pauliberg	Sonnenerde	40	5	2
E_1_1_5	46,81	21,13	6,74	PlattnerKalk	Sonnenerde	40	5	1
E_1_2_5	26,85	19,88	5,16	PlattnerKalk	Sonnenerde	40	5	1
E_1_3_5	37,46	24,67	19,4	PlattnerKalk	Sonnenerde	40	5	2
E_1_4_5	25,13	22,08	23,33	PlattnerKalk	Sonnenerde	40	5	2
A_2_1_5	4,26	6,02	8,14	Aspanger	Sonnenerde	70	5	1
A_2_2_5	-0,37	3,52	3,52	Aspanger	Sonnenerde	70	5	1
A_2_3_5	17,83	19,66	22,38	Aspanger	Sonnenerde	70	5	2
A_2_4_5	3,33	5,93	5,93	Aspanger	Sonnenerde	70	5	2
B_2_1_5	17,55	10,12	5,71	BellaFlora	Sonnenerde	70	5	1
B_2_2_5	13,06	8,75	7,13	BellaFlora	Sonnenerde	70	5	1
B_2_3_5	28,72	15,25	13,06	BellaFlora	Sonnenerde	70	5	2
B_2_4_5	30,47	17,78	13,23	BellaFlora	Sonnenerde	70	5	2
C_2_1_5	4,34	3,99	7,15	Immergruen	Sonnenerde	70	5	1
C_2_2_5	-0,58	2,5	7,86	Immergruen	Sonnenerde	70	5	1

Tabelle 10-2: Treibhausgaswerte Sonnenerde 5°C und 12°C

Probennummer	mg CO ₂ -C m ⁻² h ⁻¹	µg NO _x -N m ⁻² h ⁻¹	µg NO ₂ -N m ⁻² h ⁻¹	Steinmehl	Kompost	WFPS %	°C	Block
C_2_3_5	15,54	8,86	12,91	Immergruen	Sonnenerde	70	5	2
C_2_4_5	9,06	4,66	16,78	Immergruen	Sonnenerde	70	5	2
O_2_1_5	95,59	10,4	6,69	ohne	Sonnenerde	70	5	1
O_2_2_5	19,39	10,2	14,43	ohne	Sonnenerde	70	5	2
D_2_1_5	5,35	5,2	8,74	Pauliberg	Sonnenerde	70	5	1
D_2_2_5	8,13	7,05	6,07	Pauliberg	Sonnenerde	70	5	1
D_2_3_5	10,13	9,88	19,15	Pauliberg	Sonnenerde	70	5	2
D_2_4_5	14,04	9,4	20,05	Pauliberg	Sonnenerde	70	5	2
E_2_1_5	6,48	6,52	4,11	PlattnerKalk	Sonnenerde	70	5	1
E_2_2_5	5,18	4,46	0,21	PlattnerKalk	Sonnenerde	70	5	1
E_2_3_5	26,68	18,09	31,57	PlattnerKalk	Sonnenerde	70	5	2
E_2_4_5	10,52	8,1	9,01	PlattnerKalk	Sonnenerde	70	5	2
A_1_1_12	119,56	72,76	137,93	Aspanger	Sonnenerde	40	12	1
A_1_2_12	118,66	85,93	124	Aspanger	Sonnenerde	40	12	1
A_1_3_12	140,43	138,82	97,6	Aspanger	Sonnenerde	40	12	2
A_1_4_12	124,43	118,26	99,68	Aspanger	Sonnenerde	40	12	2
B_1_1_12	135,51	70,76	92,51	BellaFlora	Sonnenerde	40	12	1
B_1_2_12	163,26	69,52	90,31	BellaFlora	Sonnenerde	40	12	1
B_1_3_12	128,47	102,78	159,84	BellaFlora	Sonnenerde	40	12	2
B_1_4_12	157,23	107,62	151,8	BellaFlora	Sonnenerde	40	12	2
C_1_1_12	122,34	86,36	82,01	Immergruen	Sonnenerde	40	12	1
C_1_2_12	127,69	91,76	92,38	Immergruen	Sonnenerde	40	12	1
C_1_3_12	133,93	109,88	153,9	Immergruen	Sonnenerde	40	12	2
C_1_4_12	123,38	104,89	157,82	Immergruen	Sonnenerde	40	12	2
O_1_1_12	133,66	41,23	143,44	ohne	Sonnenerde	40	12	1
O_1_2_12	136,45	95,84	110,36	ohne	Sonnenerde	40	12	2
D_1_1_12	112,11	80,08	97,33	Pauliberg	Sonnenerde	40	12	1
D_1_2_12	138,34	92,79	99,63	Pauliberg	Sonnenerde	40	12	1
D_1_3_12	116,86	88,73	142,14	Pauliberg	Sonnenerde	40	12	2
D_1_4_12	134,67	115,94	139,3	Pauliberg	Sonnenerde	40	12	2
E_1_1_12	154,3	95,6	83,85	PlattnerKalk	Sonnenerde	40	12	1
E_1_2_12	81,15	80,21	77,31	PlattnerKalk	Sonnenerde	40	12	1

Tabelle 10-3: Treibhausgaswerte Sonnenerde 12°C und 19°C

Probennummer	mg CO ₂ -C m ⁻² h ⁻¹	µg NO ₂ -N m ⁻² h ⁻¹	µg NO ₂ -N m ⁻² h ⁻¹	Steinmehl	Kompost	WFPS %	°C	Block
E_1_3_12	137,5	91,22	163,1	PlattnerKalk	Sonnenerde	40	12	2
E_1_4_12	82,7	86,54	173,57	PlattnerKalk	Sonnenerde	40	12	2
A_2_1_12	51,04	40,26	104,09	Aspanger	Sonnenerde	70	12	1
A_2_2_12	13,22	14,69	14,69	Aspanger	Sonnenerde	70	12	1
A_2_3_12	72,61	82,09	103,76	Aspanger	Sonnenerde	70	12	2
A_2_4_12	13,55	26,49	26,49	Aspanger	Sonnenerde	70	12	2
B_2_1_12	68,54	32,2	86,94	BellaFlora	Sonnenerde	70	12	1
B_2_2_12	69,3	30,55	96,99	BellaFlora	Sonnenerde	70	12	1
B_2_3_12	98,77	73,56	147,42	BellaFlora	Sonnenerde	70	12	2
B_2_4_12	100,62	88,3	143,61	BellaFlora	Sonnenerde	70	12	2
C_2_1_12	45,59	27,59	90,42	Immergruen	Sonnenerde	70	12	1
C_2_2_12	10,87	13,22	105,73	Immergruen	Sonnenerde	70	12	1
C_2_3_12	57,09	49,77	156,18	Immergruen	Sonnenerde	70	12	2
C_2_4_12	13,79	23,35	181,43	Immergruen	Sonnenerde	70	12	2
O_2_1_12	86,66	11,14	232,4	ohne	Sonnenerde	70	12	1
O_2_2_12	77	41,68	108,99	ohne	Sonnenerde	70	12	2
D_2_1_12	37,97	27,51	106,57	Pauliberg	Sonnenerde	70	12	1
D_2_2_12	46,66	31,76	94,42	Pauliberg	Sonnenerde	70	12	1
D_2_3_12	46,31	45,19	148,27	Pauliberg	Sonnenerde	70	12	2
D_2_4_12	56,94	43,94	164,68	Pauliberg	Sonnenerde	70	12	2
E_2_1_12	36,51	17,24	83,23	PlattnerKalk	Sonnenerde	70	12	1
E_2_2_12	37,36	13,37	296,45	PlattnerKalk	Sonnenerde	70	12	1
E_2_3_12	77,51	100,64	164,99	PlattnerKalk	Sonnenerde	70	12	2
E_2_4_12	46,23	51,16	101,4	PlattnerKalk	Sonnenerde	70	12	2
A_1_1_19	233,75	331,87	21,65	Aspanger	Sonnenerde	40	19	1
A_1_2_19	257,64	340,09	21,88	Aspanger	Sonnenerde	40	19	1
A_1_3_19	332,51	567,97	29,21	Aspanger	Sonnenerde	40	19	2
A_1_4_19	313,8	553,67	31,15	Aspanger	Sonnenerde	40	19	2
B_1_1_19	277,48	339,39	41,86	BellaFlora	Sonnenerde	40	19	1
B_1_2_19	383,66	356,8	41,32	BellaFlora	Sonnenerde	40	19	1
B_1_3_19	300,83	486,99	67,52	BellaFlora	Sonnenerde	40	19	2
B_1_4_19	384,07	520,62	64,03	BellaFlora	Sonnenerde	40	19	2

Tabelle 10-4: Treibhausgaswerte Sonnenerde 19°C

Probennummer	mg CO ₂ -C m ⁻² h ⁻¹	µg NO _x -N m ⁻² h ⁻¹	µg NO ₂ -N m ⁻² h ⁻¹	Steinmehl	Kompost	WFPS %	°C	Block
C_1_1_19	280,02	376,85	23	Immergruen	Sonnenerde	40	19	1
C_1_2_19	272,99	386,97	21,81	Immergruen	Sonnenerde	40	19	1
C_1_3_19	329,72	524,76	36,18	Immergruen	Sonnenerde	40	19	2
C_1_4_19	307,53	521,02	33,6	Immergruen	Sonnenerde	40	19	2
O_1_1_19	301,16	377,16	35,8	ohne	Sonnenerde	40	19	1
O_1_2_19	326,45	455,36	55,82	ohne	Sonnenerde	40	19	2
D_1_1_19	277,2	374,93	18,92	Pauliberg	Sonnenerde	40	19	1
D_1_2_19	304,34	385,42	22,58	Pauliberg	Sonnenerde	40	19	1
D_1_3_19	322,05	491,75	24,05	Pauliberg	Sonnenerde	40	19	2
D_1_4_19	345,44	528,06	28,15	Pauliberg	Sonnenerde	40	19	2
E_1_1_19	341,35	396,89	26,06	PlattnerKalk	Sonnenerde	40	19	1
E_1_2_19	199,72	371,56	20,64	PlattnerKalk	Sonnenerde	40	19	1
E_1_3_19	331,09	426,29	22,91	PlattnerKalk	Sonnenerde	40	19	2
E_1_4_19	194,75	394,44	17,08	PlattnerKalk	Sonnenerde	40	19	2
A_2_1_19	106,83	110,76	14,58	Aspanger	Sonnenerde	70	19	1
A_2_2_19	25,13	42,36	42,36	Aspanger	Sonnenerde	70	19	1
A_2_3_19	187,87	246,85	17,63	Aspanger	Sonnenerde	70	19	2
A_2_4_19	37,2	72,45	72,45	Aspanger	Sonnenerde	70	19	2
B_2_1_19	177,06	135,23	32,07	BellaFlora	Sonnenerde	70	19	1
B_2_2_19	172,28	137,45	29,46	BellaFlora	Sonnenerde	70	19	1
B_2_3_19	264,14	319,71	50,22	BellaFlora	Sonnenerde	70	19	2
B_2_4_19	259,8	320,52	51,71	BellaFlora	Sonnenerde	70	19	2
C_2_1_19	145,65	100,2	11,96	Immergruen	Sonnenerde	70	19	1
C_2_2_19	32,19	47,08	64,2	Immergruen	Sonnenerde	70	19	1
C_2_3_19	167,74	183,08	13,8	Immergruen	Sonnenerde	70	19	2
C_2_4_19	29,05	63,07	104,05	Immergruen	Sonnenerde	70	19	2
O_2_1_19	212,92	185,93	32	ohne	Sonnenerde	70	19	1
O_2_2_19	204,73	184,16	53,21	ohne	Sonnenerde	70	19	2
D_2_1_19	97,86	85,3	18,73	Pauliberg	Sonnenerde	70	19	1
D_2_2_19	112,13	103,41	12,91	Pauliberg	Sonnenerde	70	19	1
D_2_3_19	131,14	143,87	15,69	Pauliberg	Sonnenerde	70	19	2
D_2_4_19	158,8	186,39	17,47	Pauliberg	Sonnenerde	70	19	2

Tabelle 10-5: Treibhausgaswerte 19°C und 26°C

Probennummer	mg CO ₂ -C m ⁻² h ⁻¹	µg NO ₂ -N m ⁻² h ⁻¹	µg NO ₂ -N m ⁻² h ⁻¹	Steinmehl	Kompost	WFPS %	°C	Block
E_2_1_19	99,22	72,53	11,45	PlattnerKalk	Sonnenerde	70	19	1
E_2_2_19	99,71	73,5	26,86	PlattnerKalk	Sonnenerde	70	19	1
E_2_3_19	168	188,72	17,47	PlattnerKalk	Sonnenerde	70	19	2
E_2_4_19	142,03	133,47	48,37	PlattnerKalk	Sonnenerde	70	19	2
A_1_1_26	554,98	839,94	-16,19	Aspanger	Sonnenerde	40	26	1
A_1_2_26	500,34	836,78	-12,5	Aspanger	Sonnenerde	40	26	1
A_1_3_26	680,94	856,47	-2,92	Aspanger	Sonnenerde	40	26	2
A_1_4_26	648,34	863,14	-9,32	Aspanger	Sonnenerde	40	26	2
B_1_1_26	618,92	623,23	204,8	BellaFlora	Sonnenerde	40	26	1
B_1_2_26	808,01	619,38	206,94	BellaFlora	Sonnenerde	40	26	1
B_1_3_26	620,01	716,29	137,17	BellaFlora	Sonnenerde	40	26	2
B_1_4_26	807,94	752,3	101,95	BellaFlora	Sonnenerde	40	26	2
C_1_1_26	502,83	724,98	86,21	Immergruen	Sonnenerde	40	26	1
C_1_2_26	445,7	706,86	100,91	Immergruen	Sonnenerde	40	26	1
C_1_3_26	717,86	858,84	-5,86	Immergruen	Sonnenerde	40	26	2
C_1_4_26	663,36	859,07	-6,48	Immergruen	Sonnenerde	40	26	2
O_1_1_26	667,45	610,5	215,84	ohne	Sonnenerde	40	26	1
O_1_2_26	679,12	763,95	92,25	ohne	Sonnenerde	40	26	2
D_1_1_26	514,77	795,45	26,46	Pauliberg	Sonnenerde	40	26	1
D_1_2_26	529,01	782,23	36,01	Pauliberg	Sonnenerde	40	26	1
D_1_3_26	658,8	864,94	-11,97	Pauliberg	Sonnenerde	40	26	2
D_1_4_26	708,84	865,69	-12,89	Pauliberg	Sonnenerde	40	26	2
E_1_1_26	638,4	748,15	68,85	PlattnerKalk	Sonnenerde	40	26	1
E_1_2_26	408,81	738,52	77,18	PlattnerKalk	Sonnenerde	40	26	1
E_1_3_26	748,99	864,06	-9,04	PlattnerKalk	Sonnenerde	40	26	2
E_1_4_26	448,85	864,59	-10,79	PlattnerKalk	Sonnenerde	40	26	2
A_2_1_26	130,24	256,82	58,52	Aspanger	Sonnenerde	70	26	1
A_2_2_26	54,55	186,03	186,03	Aspanger	Sonnenerde	70	26	1
A_2_3_26	416,4	695,78	36,75	Aspanger	Sonnenerde	70	26	2
A_2_4_26	83,01	234,32	234,32	Aspanger	Sonnenerde	70	26	2
B_2_1_26	456,86	507,42	236,24	BellaFlora	Sonnenerde	70	26	1
B_2_2_26	433,87	504,39	235,43	BellaFlora	Sonnenerde	70	26	1

Tabelle 10-6: Treibhausgaswerte Sonnenerde 26°C

Probennummer	mg CO ₂ -C m ⁻² h ⁻¹	µg NO _x -N m ⁻² h ⁻¹	µg NO ₂ -N m ⁻² h ⁻¹	Steinmehl	Kompost	WFPS %	°C	Block
B_2_3_26	573,15	755,07	101,06	BellaFlora	Sonnenerde	70	26	2
B_2_4_26	534,8	747,42	101,65	BellaFlora	Sonnenerde	70	26	2
C_2_1_26	141,72	212,11	159,25	Immergruen	Sonnenerde	70	26	1
C_2_2_26	101,21	264,47	343,13	Immergruen	Sonnenerde	70	26	1
C_2_3_26	386,73	528,97	29,67	Immergruen	Sonnenerde	70	26	2
C_2_4_26	66,8	196,1	327,09	Immergruen	Sonnenerde	70	26	2
O_2_1_26	713,18	601,85	226,78	ohneSteinmehl	Sonnenerde	70	26	1
O_2_2_26	479,65	694,47	118,19	ohneSteinmehl	Sonnenerde	70	26	2
D_2_1_26	136	224,88	111,42	Pauliberg	Sonnenerde	70	26	1
D_2_2_26	173,25	296,54	119,93	Pauliberg	Sonnenerde	70	26	1
D_2_3_26	321,02	420,24	30,18	Pauliberg	Sonnenerde	70	26	2
D_2_4_26	352,75	505,06	35,87	Pauliberg	Sonnenerde	70	26	2
E_2_1_26	151,17	188,69	146,87	PlattnerKalk	Sonnenerde	70	26	1
E_2_2_26	221,35	228,04	273,36	PlattnerKalk	Sonnenerde	70	26	1
E_2_3_26	378,65	526,88	32,75	PlattnerKalk	Sonnenerde	70	26	2
E_2_4_26	387,9	374,5	125,55	PlattnerKalk	Sonnenerde	70	26	2

Tabelle 10-7: Treibhausgaswerte MA48 5°C

Probennummer	mg CO ₂ -C m ⁻² h ⁻¹	µg NO-N m ⁻² h ⁻¹	µg NO ₂ -N m ⁻² h ⁻¹	Steinmehl	Kompost	WFPS %	°C	Block
A_1_1_5	60,15	0,23	12,06	Aspanger	MA48	40	5	1
A_1_2_5	73,26	1,05	11,64	Aspanger	MA48	40	5	1
A_1_3_5	84,56	-1,16	8,14	Aspanger	MA48	40	5	2
A_1_4_5	100,61	0,71	4,24	Aspanger	MA48	40	5	2
B_1_1_5	88,44	0,85	8,56	BellaFlora	MA48	40	5	1
B_1_2_5	68,21	8,62	8,97	BellaFlora	MA48	40	5	1
B_1_3_5	117,57	-0,05	5,79	BellaFlora	MA48	40	5	2
B_1_4_5	123,79	1,24	3,94	BellaFlora	MA48	40	5	2
C_1_1_5	46,87	1,1	5,09	Immergruen	MA48	40	5	1
C_1_2_5	70	2,24	13,17	Immergruen	MA48	40	5	1
C_1_3_5	104,53	0,65	4,17	Immergruen	MA48	40	5	2
C_1_4_5	112,56	0,44	4,03	Immergruen	MA48	40	5	2
O_1_1_5	116,75	-1,15	8,89	ohne	MA48	40	5	1
O_1_2_5	120,94	0,52	3,21	ohne	MA48	40	5	2
D_1_1_5	84,21	2,53	8,55	Pauliberg	MA48	40	5	1
D_1_2_5	65,42	0,24	8,47	Pauliberg	MA48	40	5	1
D_1_3_5	98,53	0,39	5,62	Pauliberg	MA48	40	5	2
D_1_4_5	100,06	1,04	4,54	Pauliberg	MA48	40	5	2
E_1_1_5	63,41	-1,46	16,3	PlattnerKalk	MA48	40	5	1
E_1_2_5	78,72	0,32	12,4	PlattnerKalk	MA48	40	5	1
E_1_3_5	106,27	-0,98	2,06	PlattnerKalk	MA48	40	5	2
E_1_4_5	95,21	0,29	3,51	PlattnerKalk	MA48	40	5	2
A_2_1_5	33,65	-1,48	13,31	Aspanger	MA48	70	5	1
A_2_2_5	8,94	0,41	0,41	Aspanger	MA48	70	5	1
A_2_3_5	67	1,21	2,54	Aspanger	MA48	70	5	2
A_2_4_5	28,99	-1,13	-1,13	Aspanger	MA48	70	5	2
B_2_1_5	37,01	0,44	9,52	BellaFlora	MA48	70	5	1
B_2_2_5	45,39	1,14	7,25	BellaFlora	MA48	70	5	1
B_2_3_5	78,09	-0,89	3,84	BellaFlora	MA48	70	5	2
B_2_4_5	80,1	-0,63	3,09	BellaFlora	MA48	70	5	2
C_2_1_5	33,53	-1,3	12,82	Immergruen	MA48	70	5	1
C_2_2_5	14,37	-2,09	9,43	Immergruen	MA48	70	5	1

Tabelle 10-8: Treibhausgaswerte MA48 5°C und 12°C

Probennummer	mg CO ₂ -C m ⁻² h ⁻¹	µg NO _x -N m ⁻² h ⁻¹	µg NO ₂ -N m ⁻² h ⁻¹	Steinmehl	Kompost	WFPS %	°C	Block
C_2_3_5	62,14	-0,84	6,06	Immergruen	MA48	70	5	2
C_2_4_5	17,19	-0,61	5,72	Immergruen	MA48	70	5	2
O_2_1_5	41,96	-0,17	11,46	ohne	MA48	70	5	1
O_2_2_5	53,32	0,35	3,16	ohne	MA48	70	5	2
D_2_1_5	27,71	0,56	11,33	Pauliberg	MA48	70	5	1
D_2_2_5	27,36	-0,01	7,25	Pauliberg	MA48	70	5	1
D_2_3_5	60,3	0,07	4,93	Pauliberg	MA48	70	5	2
D_2_4_5	66,27	0,12	6,15	Pauliberg	MA48	70	5	2
E_2_1_5	34,82	0,47	9,32	PlattnerKalk	MA48	70	5	1
E_2_2_5	36,23	-0,86	10,25	PlattnerKalk	MA48	70	5	1
E_2_3_5	65,6	1,16	1,91	PlattnerKalk	MA48	70	5	2
E_2_4_5	56,1	0,25	3,65	PlattnerKalk	MA48	70	5	2
A_1_1_12	259,67	0,99	13,52	Aspanger	MA48	40	12	1
A_1_2_12	332,17	1,29	13,29	Aspanger	MA48	40	12	1
A_1_3_12	289,16	0,35	6,53	Aspanger	MA48	40	12	2
A_1_4_12	310,42	0,88	4,35	Aspanger	MA48	40	12	2
B_1_1_12	332,45	3,85	17,7	BellaFlora	MA48	40	12	1
B_1_2_12	357,02	2,94	11,68	BellaFlora	MA48	40	12	1
B_1_3_12	391,13	1,36	1,32	BellaFlora	MA48	40	12	2
B_1_4_12	476,02	1,33	1,63	BellaFlora	MA48	40	12	2
C_1_1_12	319,36	-0,39	16,44	Immergruen	MA48	40	12	1
C_1_2_12	348,94	1,56	19,57	Immergruen	MA48	40	12	1
C_1_3_12	304,24	1,01	0,72	Immergruen	MA48	40	12	2
C_1_4_12	325,86	0,19	3,09	Immergruen	MA48	40	12	2
O_1_1_12	342,37	0,38	10,35	ohne	MA48	40	12	1
O_1_2_12	391,49	-0,58	5,74	ohne	MA48	40	12	2
D_1_1_12	358,97	-0,52	15,72	Pauliberg	MA48	40	12	1
D_1_2_12	238,81	-0,49	23,3	Pauliberg	MA48	40	12	1
D_1_3_12	291,23	1,23	3,45	Pauliberg	MA48	40	12	2
D_1_4_12	313,84	-0,65	4,03	Pauliberg	MA48	40	12	2
E_1_1_12	257,75	1,15	11,86	PlattnerKalk	MA48	40	12	1
E_1_2_12	343,93	2,48	10,57	PlattnerKalk	MA48	40	12	1

Tabelle 10-9: Treibhausgaswerte 12°C und 19°C

Probennummer	mg CO ₂ -C m ⁻² h ⁻¹	µg NO _x -N m ⁻² h ⁻¹	µg NO ₂ -N m ⁻² h ⁻¹	Steinmehl	Kompost	WFPS %	°C	Block
E_1_3_12	320,33	0,4	4,11	PlattnerKalk	MA48	40	12	2
E_1_4_12	235,43	-1,57	4,44	PlattnerKalk	MA48	40	12	2
A_2_1_12	231,67	3,79	11,35	Aspanger	MA48	70	12	1
A_2_2_12	66,76	0,93	0,93	Aspanger	MA48	70	12	1
A_2_3_12	282,24	-2,22	5,72	Aspanger	MA48	70	12	2
A_2_4_12	90,68	-1,26	-1,26	Aspanger	MA48	70	12	2
B_2_1_12	223,07	0,04	10,82	BellaFlora	MA48	70	12	1
B_2_2_12	236,2	-0,67	12,45	BellaFlora	MA48	70	12	1
B_2_3_12	415,31	0,33	2,22	BellaFlora	MA48	70	12	2
B_2_4_12	393,92	2,79	3,74	BellaFlora	MA48	70	12	2
C_2_1_12	227,42	-2,54	23,6	Immergruen	MA48	70	12	1
C_2_2_12	50,52	3,28	21,43	Immergruen	MA48	70	12	1
C_2_3_12	290,71	-2,41	4,39	Immergruen	MA48	70	12	2
C_2_4_12	40,38	-0,03	1,61	Immergruen	MA48	70	12	2
O_2_1_12	266,81	-1,24	12,15	ohne	MA48	70	12	1
O_2_2_12	301,51	1,32	1,06	ohne	MA48	70	12	2
D_2_1_12	179,32	0,94	17,81	Pauliberg	MA48	70	12	1
D_2_2_12	173,91	1,94	7,55	Pauliberg	MA48	70	12	1
D_2_3_12	234,75	0,94	1,9	Pauliberg	MA48	70	12	2
D_2_4_12	304,84	-1,88	5,6	Pauliberg	MA48	70	12	2
E_2_1_12	199,29	-2,16	14,88	PlattnerKalk	MA48	70	12	1
E_2_2_12	219,67	0,69	11,84	PlattnerKalk	MA48	70	12	1
E_2_3_12	323,6	0,58	4,68	PlattnerKalk	MA48	70	12	2
E_2_4_12	156,7	-0,11	2,01	PlattnerKalk	MA48	70	12	2
A_1_1_19	818,84	3,1	5,76	Aspanger	MA48	40	19	1
A_1_2_19	829,33	-2,31	4,44	Aspanger	MA48	40	19	1
A_1_3_19	569,12	1,7	6,55	Aspanger	MA48	40	19	2
A_1_4_19	646,69	2,55	4,35	Aspanger	MA48	40	19	2
B_1_1_19	866,77	-3,38	23,28	BellaFlora	MA48	40	19	1
B_1_2_19	1090,92	4,54	19,88	BellaFlora	MA48	40	19	1
B_1_3_19	791,66	1,81	3,13	BellaFlora	MA48	40	19	2
B_1_4_19	1007,18	1,07	4,4	BellaFlora	MA48	40	19	2

Tabelle 10-10: Treibhausgaswerte MA48 19°C

Probennummer	mg CO ₂ -C m ⁻² h ⁻¹	µg NO _x -N m ⁻² h ⁻¹	µg NO ₂ -N m ⁻² h ⁻¹	Steinmehl	Kompost	WFPS %	°C	Block
C_1_1_19	1037,05	-0,26	7,72	Immergruen	MA48	40	19	1
C_1_2_19	1020,66	-13,57	23,7	Immergruen	MA48	40	19	1
C_1_3_19	582,22	2,18	4,19	Immergruen	MA48	40	19	2
C_1_4_19	685,95	1,57	2,91	Immergruen	MA48	40	19	2
O_1_1_19	889,74	-0,53	10,2	ohne	MA48	40	19	1
O_1_2_19	894,99	1,21	2,45	ohne	MA48	40	19	2
D_1_1_19	917,73	2,2	10,56	Pauliberg	MA48	40	19	1
D_1_2_19	573,79	0,61	12,79	Pauliberg	MA48	40	19	1
D_1_3_19	760,26	2,64	4,52	Pauliberg	MA48	40	19	2
D_1_4_19	614,23	4,59	2,06	Pauliberg	MA48	40	19	2
E_1_1_19	680,1	1,51	10,3	PlattnerKalk	MA48	40	19	1
E_1_2_19	873,19	-7,66	20,21	PlattnerKalk	MA48	40	19	1
E_1_3_19	866,12	2,05	3,12	PlattnerKalk	MA48	40	19	2
E_1_4_19	461,58	0,48	1,04	PlattnerKalk	MA48	40	19	2
A_2_1_19	671,54	2,78	8,64	Aspanger	MA48	70	19	1
A_2_2_19	176,34	1,44	1,44	Aspanger	MA48	70	19	1
A_2_3_19	720,91	3,03	4,94	Aspanger	MA48	70	19	2
A_2_4_19	142,99	-1,07	-1,07	Aspanger	MA48	70	19	2
B_2_1_19	745,39	3,39	11,57	BellaFlora	MA48	70	19	1
B_2_2_19	771,46	0,57	12,21	BellaFlora	MA48	70	19	1
B_2_3_19	923,31	2,14	1,65	BellaFlora	MA48	70	19	2
B_2_4_19	875,75	2,02	1,27	BellaFlora	MA48	70	19	2
C_2_1_19	789,56	2,4	25,48	Immergruen	MA48	70	19	1
C_2_2_19	103,91	-1,74	24,94	Immergruen	MA48	70	19	1
C_2_3_19	595,32	0,24	4,88	Immergruen	MA48	70	19	2
C_2_4_19	119,57	0,69	3,8	Immergruen	MA48	70	19	2
O_2_1_19	837,42	-1,09	9,93	ohne	MA48	70	19	1
O_2_2_19	823,96	1,94	2,66	ohne	MA48	70	19	2
D_2_1_19	576,88	1,8	6,64	Pauliberg	MA48	70	19	1
D_2_2_19	579,25	-0,46	9,81	Pauliberg	MA48	70	19	1
D_2_3_19	655,83	-1,31	5,75	Pauliberg	MA48	70	19	2
D_2_4_19	761,68	1,47	3,11	Pauliberg	MA48	70	19	2

Tabelle 10-11: Treibhausgaswerte MA48 19°C und 26°C

Probennummer	mg CO ₂ -C m ⁻² h ⁻¹	µg NO-N m ⁻² h ⁻¹	µg NO ₂ -N m ⁻² h ⁻¹	Steinmehl	Kompost	WFPS %	°C	Block
E_2_1_19	618,14	11,68	23,57	PlattnerKalk	MA48	70	19	1
E_2_2_19	657,85	3,89	16,06	PlattnerKalk	MA48	70	19	1
E_2_3_19	727,12	0,96	5,52	PlattnerKalk	MA48	70	19	2
E_2_4_19	566,31	-0,88	3,7	PlattnerKalk	MA48	70	19	2
A_1_1_26	2151,71	0,05	7,25	Aspanger	MA48	40	26	1
A_1_2_26	2101,9	0,35	4,44	Aspanger	MA48	40	26	1
A_1_3_26	1576,39	1,31	6,28	Aspanger	MA48	40	26	2
A_1_4_26	1609,4	1,19	4,68	Aspanger	MA48	40	26	2
B_1_1_26	2168,54	-0,49	3,9	BellaFlora	MA48	40	26	1
B_1_2_26	2773,38	2,38	4,47	BellaFlora	MA48	40	26	1
B_1_3_26	1907,34	1,95	2,85	BellaFlora	MA48	40	26	2
B_1_4_26	2281,73	0,23	3,49	BellaFlora	MA48	40	26	2
C_1_1_26	2487,76	-0,45	4,95	Immergruen	MA48	40	26	1
C_1_2_26	2259,64	0,65	1,9	Immergruen	MA48	40	26	1
C_1_3_26	1876,82	0,94	2,5	Immergruen	MA48	40	26	2
C_1_4_26	1893,32	0,14	3,6	Immergruen	MA48	40	26	2
O_1_1_26	2089,75	0,7	1,04	ohne	MA48	40	26	1
O_1_2_26	2105,8	-0,97	3,4	ohne	MA48	40	26	2
D_1_1_26	2468,81	1,01	4	Pauliberg	MA48	40	26	1
D_1_2_26	1427,72	2,51	3,35	Pauliberg	MA48	40	26	1
D_1_3_26	1707,13	1,54	4,99	Pauliberg	MA48	40	26	2
D_1_4_26	1807,09	-0,05	7,56	Pauliberg	MA48	40	26	2
E_1_1_26	1874,25	-0,81	5,5	PlattnerKalk	MA48	40	26	1
E_1_2_26	2328,11	1,76	3,75	PlattnerKalk	MA48	40	26	1
E_1_3_26	1979,15	0,58	2,95	PlattnerKalk	MA48	40	26	2
E_1_4_26	1457,4	-0,38	3,26	PlattnerKalk	MA48	40	26	2
A_2_1_26	2076,63	0,21	4,78	Aspanger	MA48	70	26	1
A_2_2_26	494,68	1,78	1,78	Aspanger	MA48	70	26	1
A_2_3_26	2189,54	0,49	7,36	Aspanger	MA48	70	26	2
A_2_4_26	517,12	-1,42	-1,42	Aspanger	MA48	70	26	2
B_2_1_26	2222,72	1,17	2,03	BellaFlora	MA48	70	26	1
B_2_2_26	2262,89	0,56	4,2	BellaFlora	MA48	70	26	1

Tabelle 10-12: Treibhausgaswerte MA48 26°C

Probennummer	mg CO ₂ -C m ⁻² h ⁻¹	µg NO-N m ⁻² h ⁻¹	µg NO ₂ -N m ⁻² h ⁻¹	Steinmehl	Kompost	WFPS %	°C	Block
B_2_3_26	3072,26	-1,78	3,77	BellaFlora	MA48	70	26	2
B_2_4_26	2781,2	0,34	4,45	BellaFlora	MA48	70	26	2
C_2_1_26	2264,7	1,02	4,54	Immergruen	MA48	70	26	1
C_2_2_26	286,81	-0,38	6,55	Immergruen	MA48	70	26	1
C_2_3_26	2049,67	3,03	-3,8	Immergruen	MA48	70	26	2
C_2_4_26	241,82	-0,55	6,35	Immergruen	MA48	70	26	2
O_2_1_26	2528,23	-0,43	2,11	ohne	MA48	70	26	1
O_2_2_26	2626,79	1,93	1,02	ohne	MA48	70	26	2
D_2_1_26	1696,55	1,08	4,22	Pauliberg	MA48	70	26	1
D_2_2_26	1872,35	1,41	2,55	Pauliberg	MA48	70	26	1
D_2_3_26	1879,89	0,32	7,3	Pauliberg	MA48	70	26	2
D_2_4_26	2350,29	1,33	5,71	Pauliberg	MA48	70	26	2
E_2_1_26	1838,21	0,2	3,78	PlattnerKalk	MA48	70	26	1
E_2_2_26	2013,19	-0,48	4,48	PlattnerKalk	MA48	70	26	1
E_2_3_26	2432,09	1,01	3,55	PlattnerKalk	MA48	70	26	2
E_2_4_26	2155,63	0,18	2,31	PlattnerKalk	MA48	70	26	2

Tabelle 10-13: XRD Auswertung Gesamt

Firmen- bezeichnung	Proben- nummer	Glimmer	Amphi- bole	Chlorit	Pyro- xene	Quarz	Kali- Feldsp.	Plagio- klase	Kalzit	Dolomit	Eisen- oxide	Olivin	Magnetit	Nephe- lin	Serpen- tin	Talk
Furtner	11657	★		•		★	★★★	★★★								
GreenVital	11658	•		★★		•	★	★	18%		•					
Immergrün	11659	★	•	★★		★		★★	2%	1%						
Ikosan (Plastiksack)	11660	•				•	•		97%							
DolomitEberstein	11661			•				•	8%	89%						
SölkerMarmor	11695	•				•			94%	1%						
SölkerMarmor	11696	•				•			94%	1%						
KlöcherBasalt	11697	•			★★			★★				★	•	★		
Ikosan (Kartonbehälter)	11698	•							99%							
Kogler	11699	★★	★	★★★		★		★★								
Rhomberg	11710	•		•		★			70%	10%						
Marko	11711	★		•		•		•	84%	1%						
Renz	11712	★	•			•		•	96%							
Magnolithe	11733		•									•			★★	★★
Omya	11734					•			98%	1%						
Schindele	11735	★★		★		★★★	★★	★★								
Hollitzer	11736	•		•		•	•	•	12%	51%						
Pinkataler	11737		★	★★		•	★	★★								
Wietersdorfer	11738								100%							
Wietersdorfer	11739								100%							
Baumit	11740								100%							
Jenul	11741	★★		★★		★★	•	★	4%	1%						
Schärdinger Granit	11743	★★				★★	★	★								
Wldy's	11791	★★		•		★★	★★	★★								
Kärntern- Montanindustrie	11835	•		★		★			6%	25%	•					
bellaFlora	11837	•	•	★	★	★		★★★								
Keckeis	11838					•			99%							
PlattnerKalk	11839	•		•		•			62%	36%						
Paulberg	11840	★			★★			★★				•	•			
Hengl	11908	★		★		★★	★★	★★								
Aspanger	11961	★				★★★		★			•					
Klöch	11962	•			★★			★★				•	•	★		
Rath	11974	★				★★		★								
Biglit	12118	•		★★		★★		★★	2%	8%						
Umweltplonier	13622	★		•		★★★	★	★	12%	5%						