

Einblasdämmstoffe aus Faserhanf und Grasfasern

im Vergleich zu Altpapierdämmstoffen

Ausgearbeitet durch

J.-L. Hersener, A. Keller

Im Auftrag des

Bundesamtes für Energie

Dezember 2002

Auftraggeber:

Forschungsprogramm Rationelle Energienutzung in Gebäuden
Bundesamtes für Energie

Auftragnehmer:

Eidg. Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, Tänikon (FAT)
CH-8356 Ettenhausen

Autoren:

J.-L. Hersener, Ing'büro HERSENER, Wiesendangen
A. Keller, Eidg. Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, Tänikon (FAT), Ettenhausen

Begleitgruppe, Co-Autoren:

G. Bruggmann, EMPA St.Gallen
P. Bühlmann, 2B AG, Dübendorf
F. Dinkel, Carbotech AG, Basel
M. Gass, 2B AG, Dübendorf
S. Grass, 2B AG, Dübendorf
P. Furrer, EMPA St.Gallen
T. Grether, IBF Innovative Bio Fibre Corporation AG, St. Gallen
J.-P. Kaiser, EMPA St.Gallen
B. Läderach, Läderach Agro AG, Henggart
H. Mühlebach, EMPA Dübendorf
K. Richter, EMPA Dübendorf
W. Todt, LBL, Lindau
M. Zimmermann, EMPA Dübendorf, (Programmleiter BFE)

Dezember, 2002

Diese Studie wurde im Rahmen des Forschungsprogrammes „Rationelle Energienutzung in Gebäuden“ des Bundesamtes für Energie erarbeitet. Für den Inhalt ist alleine der/die Studiennehmer/in verantwortlich.

Bundesamt für Energie BFE

Worbentalstrasse 32, CH-3063 Ittigen • Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. 031 322 56 11, Fax 031 323 25 00 • office@bfe.admin.ch • www.admin.ch/bfe

Vertrieb: EMPA ZEN, 8600 Dübendorf (zen@empa.ch • www.empa.ch/ren)
ENET, 9320 Arbon (enet@temas.ch • www.energieforschung.ch)

Inhalt

1. Zusammenfassung	4
2. Einleitung.....	6
3. Projektziele.....	6
4. Vorgehen.....	7
5. Geleistete Arbeiten und Resultate	7
5.1. Dämmstoffherstellung	7
5.2. Brand- und Pilzschutz.....	8
5.3. Einblasverhalten.....	11
5.4. Wärmeleitfähigkeitsmessung	14
5.5. Mischungsverhältnis	14
5.6. Pilotobjekt	15
6. Ökologische Grobbewertung	23
7. Wirtschaftlichkeit	25
7.1. Marktpotential.....	25
7.1.1. Mischung Hanf/Isoloc.....	25
7.1.2. Hanf.....	25
7.1.3. Isoloc mit IBF Saveware® System	26
7.1.4. 2B Gratec	26
7.2. Ökonomischer Vergleich	26
7.2.1. Grundlagen für die Kostenberechnungen der Rohstoffbereitstellung	27
8. Schlussfolgerungen	33
9. Nationale und internationale Zusammenarbeit.....	35
10. Umsetzung und Perspektiven.....	36
11. Anhang.....	37
11.1. Berechnungsgrundlagen Hanf.....	37
11.2. Berechnungsgrundlagen Ökogras.....	38
11.3. Berechnungsgrundlagen Klee gras 3-jährig	39
11.4. Berechnungsgrundlagen Klee gras mehrjährig	40
11.5. Berechnungsgrundlagen Papiersammlung	40
11.6. Berechnungsgrundlagen und zusammenfassende Datenbasis für Grafiken	41

1. Zusammenfassung

Ziel des Projektes war die Entwicklung und technische Erprobung von Einblasdämmstoffen aus Hanf und Gras. Der Dämmstoff soll physikalisch und anwendungstechnisch marktgängigen Einblasdämmstoffen ebenbürtig und auch vermarktbar sein.

Folgende Dämmstoffe wurden bis zum Projektende verglichen:

- Hanf
- Mischung Hanf und Isofloc
- 2B Gratec als Dämmstoff aus Grasfasern
- Saveware® als neuentwickeltes, mit borfreiem Brand- und Pilzschutzmittel behandeltes Isofloc
- Isofloc als Referenzdämmstoff aus Altpapier

Folgende Aspekte wurden untersucht:

- Technische Eigenschaften wie Einblasfähigkeit, Setzungsverhalten, Dichte, Wärmedämmung, Entmischung, Rückstellverhalten und Staubentwicklung
- Brand- und Pilzschutzverhalten
- Marktfähigkeit und Wirtschaftlichkeit aus verschiedenen Blickwinkeln (Landwirtschaft, Dämmstoffproduzent, Bundesbeiträge)
- Grobe ökologische Bewertung

Da der Altpapierdämmstoff Isofloc sowohl bezüglich Marktdurchdringung, technischer Eigenschaften aber auch bezüglich Ökonomie und Ökonomie einen Standard gesetzt hat, beziehen sich die folgenden Ergebnisse auf diese Referenz.

Die Herstellung der Rohstoffe für die Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen ist für den Landwirt aus finanzieller Sicht nicht mit den Verdienstmöglichkeiten einer lukrativen Ackerkultur zu vergleichen. Hingegen können die betrachteten nachwachsenden Rohstoffe gut in die Fruchtfolge integriert werden und den Anforderungen des ökologischen Ausgleichs in der integrierten Produktion gerecht werden.

Hanfdämmstoffe

Für die Dämmstoffanwendung bietet Hanf keine technischen Vorteile gegenüber dem Isofloc-Standard. Ebenso können im Vergleich zu Altpapierdämmstoff keine ökologischen Vorteile ausgewiesen werden und dies bei starken ökonomischen Nachteilen. Daher sind die Hanffasern für Dämmstoffe wenig prädestiniert. Dieselben Überlegungen gelten auch für die Mischung Hanf-Isofloc. Die Hanffaser bietet jedoch Eigenschaften, die Anwendungen mit höheren technischen Anforderungen und somit auch mit höherer Wertschöpfung zulassen wie z.B. im Textil- oder Verbundwerkstoffsektor.

Grasdämmstoffe

Mit der Produktion von Gras für Dämmstoffe kann der Landwirt je nach Wiesentyp Stundenlöhne erreichen, die höher liegen als bei der Hanfproduktion. Aufgrund der groben ökologischen Abschätzung liegt die Umweltbelastung durch Grasdämmstoffe zwischen derjenigen der Hanfdämmstoffe und der Altpapierreferenz. Die auf die niedrige

Einblasdichte zurückzuführenden besseren Dämmeigenschaften stellen einen Vorteil dar unter der Bedingung, dass sich der eingeblasene Dämmstoff nicht setzt.

Brand- und Pilzschutzausrüstung Saveware®

Die mit IBF's Saveware® (Stickstoffverbindungen) ausgerüsteten Altpapierdämmstoffe lassen sich mit etwas niedrigerer Einblasdichte verarbeiten, was sich allerdings kaum auf die Wärmeleitfähigkeit auswirkt. Es stellt aber einen Kostenvorteil dar. Aus technischer und ökologischer und Sicht verbessert die Saveware®-Ausrüstung den Isofloc-Dämmstoff gegenüber der mit Borsalzen ausgerüsteten Standard-Variante.

Aufgrund des schrittweisen Vorgehens und der kontinuierlichen Weiterentwicklung der Produkte über das Projektende hinaus, können die Ergebnisse nicht als abschliessend betrachtet werden, sondern widerspiegeln vielmehr den momentanen Entwicklungsstand.

2. Einleitung

Aus landwirtschaftlicher Sicht stellen sowohl der Hanfanbau wie auch die Nutzung von Grünland für nachwachsende Rohstoffe eine valable Alternative zur Nahrungsmittelproduktion dar. Die ökologische Bewertung nachwachsender Rohstoffe wird entscheidend durch die Intensität der landwirtschaftlichen Produktion bestimmt. Sowohl Gras als auch Hanf lassen sich biologisch oder nach den Richtlinien der Integrierten Produktion anbauen und können daher dem Anspruch einer ökologischen Produktion gerecht werden. Der Erfolg nachwachsender Rohstoffe hängt jedoch nicht nur von den landwirtschaftlichen oder ökologischen Eigenschaften ab. Die Wirtschaftlichkeit und die technischen Möglichkeiten ein marktfähiges Produkt daraus zu entwickeln, sind ebenso entscheidend. Sowohl aus Gras wie auch aus Hanf lassen sich Fasern herstellen, die im Dämmstoffbereich eingesetzt werden können. Die Anforderungen an die Faserqualität sind im Vergleich zum textilen Einsatz oder für hochfeste Verbundwerkstoffe niedriger. Vom Volumen her bietet der Dämmstoffmarkt auch für Fasern aus nachwachsenden Rohstoffen einen interessanten Markt. Abzuklären bleibt, inwieweit die untersuchten, biogenen Faserdämmstoffe der Sensibilisierung des Marktes nach ökologischen Alternativprodukten gerecht werden. Um die Möglichkeiten von Hanf- bzw. Grasfasern für den Dämmstoffeinsatz abzuklären, wurde das Projekt interdisziplinär bearbeitet. Dabei wurden Gras- bzw. Hanffasern mit zugehöriger Pilz- und Brandschutzausrüstung zu Einblaszwecken entwickelt und sowohl im Labor als auch in Pilotobjekten getestet. Die Testresultate fließen in das Vermarktungskonzept der beteiligten, auf dem Markt präsenten Firmen ein.

3. Projektziele

Ziel des Projektes war die Entwicklung und technische Erprobung von Einblasdämmstoffen aus Hanf und Gras. Der Dämmstoff soll physikalisch und anwendungstechnisch marktgängigen Einblasdämmstoffen ebenbürtig und auch vermarktbar sein (Wirtschaftlichkeit und Ökologie). Es lassen sich folgende Teilziele formulieren:

Pilz- und Brandschutz

Eine toxikologisch unbedenkliche Pilz- und Brandschutzausrüstung inkl. Applikationstechnik für die neuartigen Einblasdämmstoffe ist zu entwickeln und prüfen.

Technische Eigenschaften

Das Einblasen unter vergleichbaren Praxisbedingungen sollte auf marktüblichen Maschinen problemlos möglich sein. Die resultierenden Eigenschaften bzgl. der Setzung, Entmischungen, Rückstellfähigkeit, Einblasdichte und Wärmeleitfähigkeit sollen gegenüber marktgängigen Einblasdämmstoffen konkurrenzfähig sein.

Marktfähigkeit

Die Herstellverfahren und Produkte sollen ökologisch unbedenklich sein und zu marktfähigen Preisen führen.

Pilotobjekt

Mehrere Pilotobjekte, an welchen die verschiedenen Dämmstoffe unter realen Bedingungen verglichen werden, sind zu realisieren.

4. Vorgehen

Die beteiligten Firmen haben bereits vor diesem Projekt erhebliche Arbeiten auf dem Bereich der Zerfaserung von Hanf, Fraktionierung von Gras und Entwicklung von Pilz- und Brandschutzausrüstungen geleistet. Basierend auf diesen Erfahrungen wurden im Rahmen des Projektes die Einblasdämmstoffe weiterentwickelt. Mittels Laboruntersuchungen wurden die verschiedenen Dämmstoffe schrittweise verbessert, bis eine Qualität erreicht wurde, die die Anwendung in Demonstrationsobjekten erlaubte. Teilweise gaben die Erfahrungen mit den Demonstrationsobjekten bereits wieder Anlass, die Entwicklung über den Projektzeitraum hinaus fortzusetzen, wodurch die im folgenden dargestellten Laborresultate nicht immer dem neuesten Entwicklungsstand entsprechen. Als Referenz für die Beurteilung der Marktfähigkeit, Ökologie und der technischen Eigenschaften diente der Altpapier-Einblasdämmstoff "Isofloc".

5. Geleistete Arbeiten und Resultate

5.1. Dämmstoffherstellung

2B Gratec – Dämmstoffe aus Gras

Die 2B AG hat ein Verfahren entwickelt zur Fraktionierung von Gras in technische Fasern, ein Proteinkonzentrat sowie einen Energieträger. Als Energieträger kann entweder Ethanol oder Biogas hergestellt werden. Zur Erhöhung der Wertschöpfung dieser Verfahren wird die Nutzung der hergestellten Fasern in technischen Einsatzgebieten angestrebt, u.a. als Einblasdämmstoff.

Zur Aufbereitung der Rohfasern wurden verschiedene Maschinen geprüft. Nach dem ersten Mahlversuch wurde eine Verkürzung der Fasern angestrebt, um die Fliesseigenschaften des Produktes zu verbessern. Die entwickelte Faseraufbereitungstechnologie ermöglicht es, im Endprodukt die folgenden Fasertypen in geeigneten Anteilen einzubringen:

- Stützfasern (etwas länger, zur Erhaltung einer tiefen Dichte sowie eines guten Rückstellverhaltens)
- Füllfasern (kürzer, zur Optimierung der Fliesseigenschaften) und
- Feinfasern (kurz und staubig zur Optimierung der Fliesseigenschaften)

Hanfdämmstoff

Der Anbau von Faserhanf gestaltet sich problemlos. Jedoch sind in der Schweiz zur Zeit keine Maschinen vorhanden, die eine rationelle Ernte ermöglichen. Daher wurde mit leicht

modifizierten Standardmaschinen gearbeitet. Die Zerfaserung der Hanfpflanzen und die Abtrennung eines Teils der Schäben erfolgte auf einer herkömmlichen Hammermühle mit Loch und Schlitzsieben. Innerhalb des Projektes wurden die Anforderungen an das Faserprodukt schrittweise neu definiert. Durch Variation der Siebgeometrie und der Maschinenparameter wurde das entstehende Faserprodukt hinsichtlich Faserlängenverteilung, Aufschlussgrad und Schäbengehalt den Anforderungen jeweils möglichst nahe angepasst.

Isofloc

In sämtlichen Versuchen wurde der marktgängige aus Altpapier hergestellte Cellulosedämmstoff "Isofloc" als Standard mitgemessen.

Mischungen Hanf-Isofloc und 2B Gratec-Isofloc

Um das Einblasverhalten von Mischungen unterschiedlicher Fasern zu untersuchen, wurde eine Mischung aus 50 % Hanffasern, resp. 50 % 2B Gratec-Fasern und 50 % Isofloc-Dämmstoff manuell hergestellt. Im späteren Projektverlauf wurde ausschliesslich die Mischung Hanf-Isofloc weiterverfolgt. Das Mischen erfolgte dann durch Zugabe von aufgeschlossenen Hanffasern in der Hammermühle der Isofloc AG, die dem Aufschluss von Altpapier für die Produktion von Isofloc dient. Die Mischarbeit war mit erheblicher Staubentwicklung verbunden. Ausserdem besteht durch die starke Maschinenbelastung (auch durch allfälliges Fremdmaterial wie Steine, Sand und Metallteile) und die damit entstehende Wärme eine erhöhte Funkenschlag- und Brandgefahr. Daher konnte nur mit halber Durchsatzleistung gefahren werden.

5.2. Brand- und Pilzschutz

Der Brandschutz der Hanffasern bestand aus Borsalzen, im Trockenverfahren aufgebracht, was der gängigen Technik bei Einblasdämmstoffen entspricht. Auf die Grasfasern (2B Gratec) wurden ebenfalls Borsalze aufgebracht. Da die Fasern im Prozess nass anfallen, ist es möglich, die Borsalze in einem Nassverfahren zu applizieren. Dies ermöglicht aufgrund der gleichmässigeren Verteilung eine Reduktion der Borsalzmenge auf 3 Gew. %¹ (vgl. Trockenverfahren: 12 Gew. %¹). Neben den herkömmlichen, mit Borsalzen ausgerüsteten Isofloc-Dämmstoffen, die als Referenz mitliefen, wurde eine Isofloc-Variante mit dem durch die IBF AG neu entwickelten, borfreien Brand- und Pilzschutzmittel Saveware® behandelt. Das Saveware® BS-System unterscheidet sich prinzipiell von Boratapplikationen. Es wird in flüssiger Form auf die trockenen Fasern kondensiert, was zu einer Beaufschlagung der Fasern mit dem boratfreien Brandschutzmittel und seinen Wirksubstanzen führt. Dies führt bei den applizierten Dämmstoffen zu einer markanten Volumengewichtsreduktion (vgl. Einblasdichten Abbildung 10, S.22), reduzierter Staubemission und erhöhter Sicherheit sowohl im Brand- als auch im Pilzschutz durch Verhinderung des Ausrieselns der Boratkörner und dadurch erhöhter Regelmässigkeit in der Präsenz der Schutzwirkung. Um die im folgenden beschriebenen Brand- und Pilzprüfungen zu bestehen, musste sowohl für

die Ausrüstung von 2B Gratec mit Borsalzen als auch von Isofloc mit Saveware® die Applikationstechnik angepasst werden.

Prüfung des Brandverhaltens

Bei den im Projekt entwickelten Dämmstoffen wurde das Brandverhalten mittels Radiant Panel Test untersucht.



Abbildung 1: Schema des Radiant Panel Tests (links). Proben nach dem Test (rechts). Quelle: EMPA SG und IBF AG.

Alle Proben erreichten damit einen Brennbarkeitsgrad, welcher der Brandkennziffer 4/5 entsprechen würde (schwer brennbar). Der 2B Gratec-Dämmstoff wurde zusätzlich am Schweizerischen Institut zur Förderung der Sicherheit nach der "Wegleitung für Feuerpolizeivorschriften: Baustoffe und Bauteile" der Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen (VKF) geprüft, wo die Brandkennziffer 5.2 erreicht wurde. Mischungen verschiedener Dämmstoffe wurden jeweils erst nach der Brand- und Pilzschutzausrüstung der Einzelkomponenten hergestellt.

Prüfung der Schimmelpilzresistenz

Die Pilzprüfung wurde nach ISO 846 A mit den unten aufgeführten Pilzen durchgeführt:

<i>Aspergillus niger</i>	EMPA 510 (ATCC 6275)	Log Nr. 123/537
<i>Aspergillus terreus</i>	EMPA 506 (ATCC 10690)	Log Nr. 123/561
<i>Aureobasidium pullulans</i>	EMPA 316	Log Nr. 123/555
<i>Paecilomyces variotii</i>	EMPA 549 (ATCC 18502)	Log Nr. 123/469
<i>Penicillium funiculosum</i>	EMPA 511 (CMI 114933)	Log Nr. 123/558
<i>Penicillium ochrochloron</i>	EMPA 507 (ATCC 9112)	Log Nr. 123/557
<i>Scopulariopsis brevicaulis</i>	EMPA 601 (DSM 9122)	Log Nr. 123/556
<i>Trichoderma viride</i>	EMPA 113	Log Nr. 123/543

¹ Firmenangaben

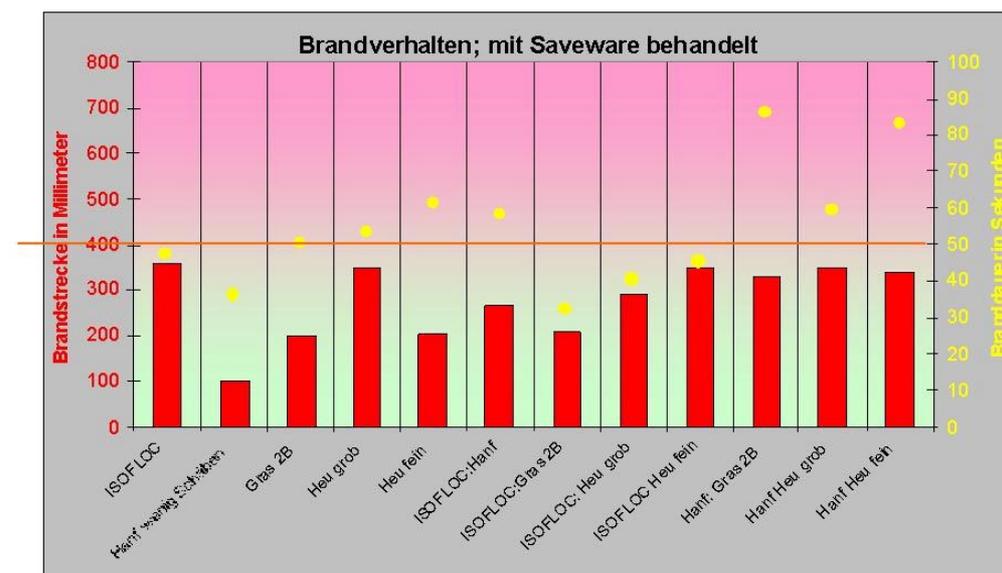
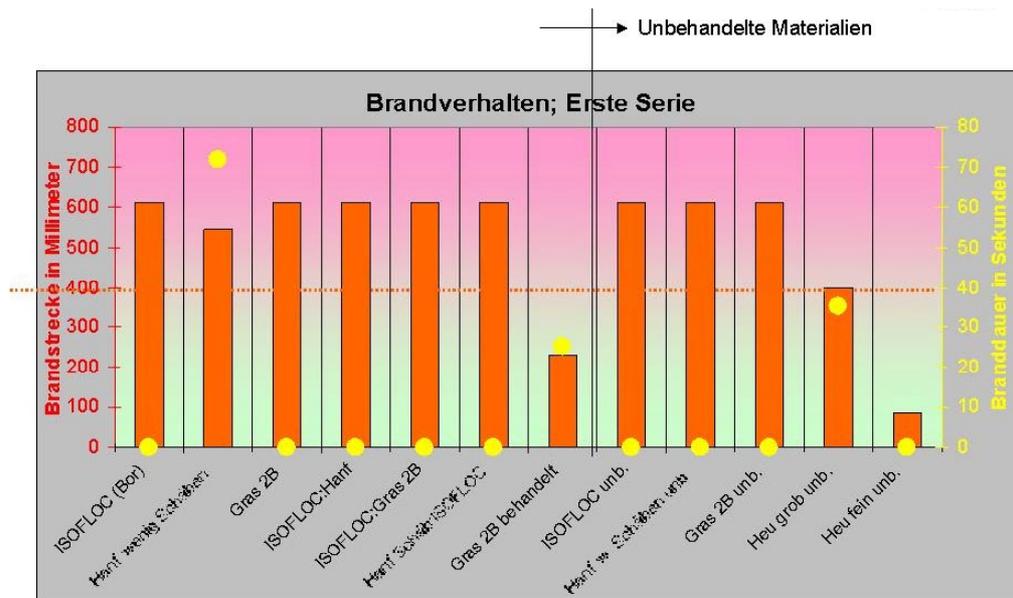


Abbildung 2: Brandstrecken verschiedener, behandelter und unbehandelter Dämmstoffe nach dem Radial Panel Test. Quelle: EMPA SG und IBF AG.

Die Dämmstoffproben wurde mit einer Suspension bestehend aus diesen Pilzen beimpft und während 6 Wochen inkubiert. Der Pilzbewuchs der Proben wurde nach ISO 846 bonitiert. Sämtliche geprüften Materialien zeigten bei diesem bewusst hart angelegten Test in den ersten Versuchen eine schlechte Pilzresistenz, selbst die ISOFLÖC-Referenz schnitt nur wenig besser ab. Nur bei Hanfdämmstoffen mit wenig Schäben (unbehandelt) zeigte sich eine natürlich vorhandene Pilzresistenz. Die mit Saveware® behandelten Proben zeigten schlechte Pilzresistenz, da sich das Pilzbehandlungsmittel während der Applikation zusammen mit dem Brandschutzmittel neutralisierte. Aufgrund dieser Resultate wurde die

Saveware-Rezeptur angepasst. Die Wiederholung der Versuche attestierte dann den mit Saveware® ausgerüsteten Einblasdämmstoffen eine gute Pilzresistenz. Die Prüfung der Schimmelpilzresistenz der modifizierten 2B Gratec-Variante ist im Rahmen der Bauzulassungsprüfungen eingeleitet, die entsprechenden Resultate liegen noch nicht vor. Aufgrund von Erfahrungen mit borbasieren Pilzschutzausrüstungen auf ähnlichen Fasern wird davon ausgegangen, dass die Pilzresistenz genügend ist.

5.3. Einblasverhalten

Vorversuche mit Kleinkistenelementen

In einem ersten Schritt wurde vom Projektteam aufgrund der vorhandenen Erfahrungen der generelle Einsatz von Hanf- und Grasfasern evaluiert und Vorschläge zu einem geeigneten Faseraufschluss erarbeitet. Von den Firmen 2B AG sowie der Läderach agro AG wurden erste Gras- und Hanffasern für Einblasversuche zur Verfügung gestellt. Diese Einblasversuche sollten folgende Fragen abklären:

- Optimale Faserlänge
- Einblasdichte
- Tolerierbarer Schäbenanteil
- Einblasfähigkeit
- Faserrückstellkraft
- Setzverhalten

Für Wärmeleitfähigkeits-Messungen durch die EMPA Dübendorf wurden sämtliche Materialien in Zusammenarbeit mit der Firma Isofloc AG in normierte Kleinkisten (564 x 464 x 120 mm) eingeblasen. Aufgrund der ersten Resultate konnte festgestellt werden, dass beim Hanf der Schäbenanteil zu hoch war und sowohl Gras- als auch Hanffasern nur ein ungleichmässiges Einblasen erlaubten. In den Kisten bildeten sich unterschiedlich dichte Stellen, im Bereich der Ecken lagerten sich zu viele Schäben an.

Diese Versuche zeigten, dass die Faserlänge auf 0,5-0,8 cm verkürzt, die Einblasdichte reduziert, die Homogenität erhöht und der Schäbenanteil beim Hanf reduziert werden sollten.

Die mit den entsprechend modifizierten Einblasmaterialien durchgeführten Versuche zeigten zwar noch keine guten, aber bereits befriedigendere Ergebnisse:

- Sämtliche Materialien liessen sich mit der Standardmaschine problemlos fördern und einblasen.
- Die verhältnismässig kleinen Abmessungen der Einblaskisten führten zu starken Randeffekten (ungleichmässige Dichte im Eckenbereich und um die Einblasöffnung) bis hin zu lokalen Lochbildungen in den kritischen Bereichen.
- Die luftdichte Kistenkonstruktion liess sich vom Einblasverhalten her nicht direkt mit einer Baukonstruktion vergleichen, welche oft über die gesamte Fläche ein Ausströmen der Einblasluft zulässt.

- Beim Einblasen der Hanffasern mit geringem Schäbenanteil konnte eine Trennung der Schäben von den Fasern während des Einblasens beobachtet werden. Die Schäben lagerten sich bevorzugt in den Ecken der Versuchskisten ab.
- Die manuell hergestellten Mischungen waren im cm^3 -Massstab betrachtet nicht homogen. Aufgrund von Praxiserfahrung kann aber davon ausgegangen werden, dass dies bei einer industriell auf der Mühle hergestellten Mischung besser wäre.
- Die Mischungen (Gras-Isofloc, Hanf-Isofloc) zeigten keine Entmischung beim Einblasen, im Gegenteil: Nach dem Einblasen war die Mischung in den Kisten wesentlich homogener.
- Einblasdichte: Hanf, Hanf-Isofloc und Isofloc wiesen ähnliche Einblasdichten zwischen 85 und 97 kg/m^3 auf, während Gras und Gras-Isofloc deutlich niedrigere Werte zwischen 54 und 69 kg/m^3 erreichten (vgl. Tabelle 2).
- Rückstellverhalten: Hanf und Hanf-Isofloc wiesen praktisch kein elastisches Rückstellverhalten nach dem Eindrücken auf. Ein schwaches Rückstellverhalten wurde bei Grasfasern gefunden, während Isofloc und Gras-Isofloc das beste Rückstellverhalten zeigten.

Schlussfolgerungen der Einblasversuche in Kleinkisten

- Hanf: Das Trennverhalten der Schäben von den Fasern im Luftstrom kann für eine Materialaufbereitung genutzt werden. Für weitere Einblasversuche ist der Schäbenanteil auf ein absolutes Minimum zu reduzieren, weil das eingeblasene Produkt homogen verteilt sein muss.
- Gras: Das Einblasverhalten hat sich gegenüber dem ersten Versuch wesentlich verbessert. Mit nochmals kürzeren Fasern ist eine weitere Verbesserung zu erwarten.
- Die Randeffekte beim Einblasen in die Versuchskisten lassen sich durch eine luftdurchlässige Deckelkonstruktion und grössere Kisten vermindern.
- Die Einblasdichte kann über die Maschineneinstellung korrigiert werden. Massgebend für die richtige Einblasdichte ist die Setzungssicherheit.

Aufbauend auf den Erfahrungen beim Einblasen in Kleinkistenelemente wurden Einblasversuche in Grosskistenelemente (Innenmasse: $63 \times 18.3 \times 242.5 \text{ cm}$), die die Verhältnisse realer Bauwerke simulieren, durchgeführt. Diese dienten auch der Ermittlung der dämmstoffspezifischen Maschineneinstellungen, die zu einer homogenen Verteilung des Dämmstoffes führen. Es wurde eine Verdichtung angestrebt, die ein gutes Setzungsverhalten erwarten lässt.



Abbildung 3: Grosskistenelement (stehend) zur Prüfung des Einblasverhaltens.

Untersucht wurden Dämmstoffe aus aufgeschlossenen Grasfasern (2B Gratec), aus Hanffasern und Mischungen dieser Fasern mit dem bewährten Cellulosedämmstoff Isofloc. Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse.

Tabelle 1: Maschineneinstellungen und Fülleigenschaften (Ventilscheiben=Regulierung für Überdruckventil)

Maschine SHS 2.2		Ventilscheibenbelastung				Verdichtung					Rückfederverhalten
Nr.	Dämmstoff	3 (gold)	2 (silber)	1 (schwarz)	Schieber	Füllichte [kg/m ³]	unten	mitte	oben	Eckenbefüllung oben	
1	Isofloc	1	-	-	7	72.3	gut	gut	gut	gut	gut
2	Isofloc/2B Gratec	1	-	-	7	52.9	lose	lose-gut	lose	schlecht	gut
3	Isofloc/2B Gratec	1	1		5.5	66.52	lose-gut	gut	gut	gut	gut
4	2B Gratec	1	1		5.5	55.04	lose	gut	lose		gut
5	2B Gratec	1	1	2	4.5	60.3	lose-gut	gut	gut	gut	gut
6	Isofloc/Hanf	1	-	-	7	69.5	lose-gut	gut	gut	gut	gut
7	Hanf					84.5	lose-gut	gut	gut	gut	schlecht

Die grau hinterlegten Versuche ergaben befriedigende Resultate. Diese Maschineneinstellungen fanden für das Einblasen in den Pilotobjekten Verwendung. Die teilweise leicht lose Füllung des untersten Kistenbereiches ist nicht kritisch und dürfte in der

Praxis weniger auftreten, da übliche Wandkonstruktionen weniger luftdicht sind als das Versuchselement. Die Versuche mit reinem Hanfdämmstoff ergaben ein gutes Füllbild aber sie zeigten praktisch kein Rückfederverhalten nach Eindrücken der Hand. Ausserdem neigten die in der Hanffraktion vorhandenen Schäben dazu, in den Ecken der Versuchskisten zu agglomerieren, was eine unerwünschte Senkung der Dämmwirkung in diesen Bereichen zur Folge hat. Daher wurde für die Pilotobjekte eine Hanffaserfraktion mit längeren Fasern und weiter reduziertem Schäbengehalt hergestellt.

5.4. Wärmeleitfähigkeitsmessung

An der EMPA Dübendorf wurden die Kleinkisten der Einblasversuche bezüglich Wärmeleitfähigkeit untersucht:

Tabelle 2: Einblasdichte und Wärmeleitfähigkeit der in Kleinkisten eingeblasenen Dämmstoffe in einem frühen Entwicklungsstadium.

Bezeichnung	Proben-Nr.	Mittlere Rohdichte kg/m ³	Wärmeleitfähigkeit bei 10°C in W/(m K)
1 Isofloc	8 / 11	97	0.0494
2 Hanf, wenig Schäben	1 / 2	89	0.0538
3 2B Gratec	5 / 6	56	0.0421
4 Hanf+Isofloc 1:1	3 / 4	94	0.0527
5 2B Gratec+Isofloc 1:1	7 / 10	68	0.0443
6 Hanf/Schäben+Isofloc	10A / 11A	104	0.0567

Messmethode: 2-Plattengerät ISO 8302, Temperaturen 5/15°C, Materialien in Holzrahmen mit beidseitiger Kunststoffolie gemessen.

Die stark unterschiedliche Rohdichte macht eine direkte Vergleichbarkeit der Resultate schwierig

Die hier gemessenen Wärmeleitfähigkeiten sind aufgrund der hohen Einblasdichten, die sich infolge der oben beschriebenen Verhältnisse beim Einblasen in Kleinkisten ergaben, vergleichsweise hoch. In den Grosskisten und in der Demonstrationswand wurden niedrigere Einblasdichten realisiert, was sich auch in einer niedrigeren Wärmeleitfähigkeit manifestiert (vgl. Abbildung 10, S.22).

5.5. Mischungsverhältnis

Da reine 2B Gratec-Fasern ein gutes Einblas- und Rückstellverhalten aufweisen und diese Fasern über andere Kanäle als Isofloc vermarktet werden sollen, wurde von einer weiteren Untersuchung der 2B Gratec-Isofloc-Mischung abgesehen.

Das Mischverhältnis von Isofloc-Hanf wurde mittels Rütteltest, der Aufschluss über das Setzverhalten gibt, festgelegt (→50 Gew. % Hanf, 50 Gew. % Isofloc).

Setzungsverhalten

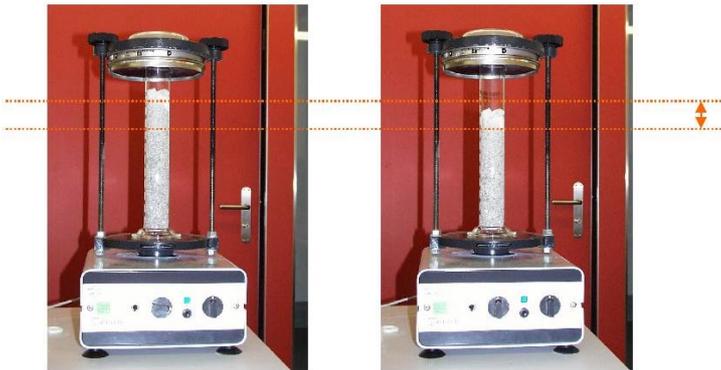


Abbildung 4: Ermittlung des Setzungsverhaltens mittels Rütteltest. Quelle: EMPA SG und IBF AG.

5.6. Pilotobjekt

Als geeignetes Demonstrationsobjekt, das mit den neuen Dämmstoffen isoliert werden konnte, bot sich die Westwand der Prüfhalle II der FAT an. Diese Wand bietet für das Projekt viele Vorteile:

- Die Konstruktion für die Einblashohlräume bestand bereits. Es musste lediglich die äussere Eternitabdeckung vorübergehend abgenommen und darunter nach Entfernung der heutigen Steinwollendämmung Abdeckplatten montiert werden.
- Die Wand ist durch die senkrechten Holzträger bereits in Segmente unterteilt, in welche die fünf verschiedenen Dämmstoffe eingeblasen werden können.
- Die Halle ist mit den Heizlüftern gleichmässig heizbar, was für die thermographischen Messungen wichtig ist.
- Die thermographischen Messungen können an ein und derselben Wand unter maximal vergleichbaren Bedingungen durchgeführt werden.
- Der Standort FAT ist neutral und bringt keinem der Industriepartner Nachteile.
- In jedes Segment konnte eine senkrecht verlaufende, schmale Glasplatte in die Innenabdeckung eingelassen werden. Damit kann langjährig das Setzungsverhalten, die Pilz-, Insekten- und Nagetierresistenz verfolgt werden. Ausserdem entsteht an der FAT ein attraktives, bestens untersuchtes und dokumentiertes Demonstrationsobjekt, mit welchem Besuchern die Resultate angewandter Forschung näher gebracht werden können.

Untenstehendes Bild zeigt eines der fünf Segmente des einzublasenden Demonstrationsobjektes vor Montage der Abdeckplatten. Aufnahme von aussen, nach Entfernung der Eternitabdeckung und der Glaswollendämmung. Das Sichtfenster

(Fensterglas), welches später den eingebblasenen Dämmstoff vom Halleninnern her sichtbar macht, ist bereits eingelassen.

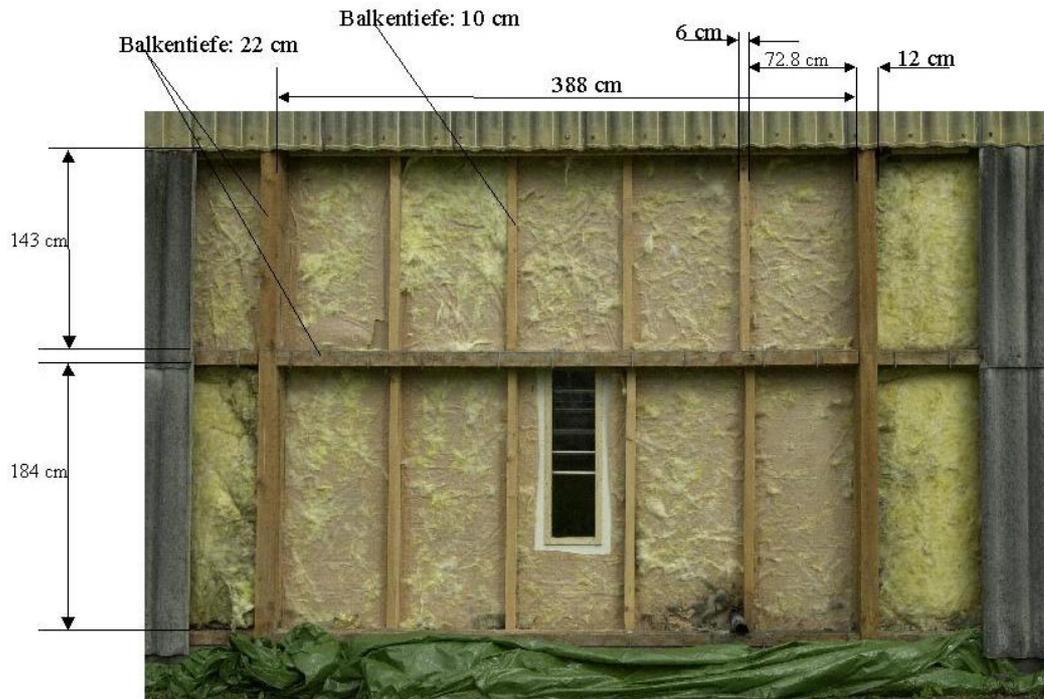


Abbildung 5: Aufbau eines der fünf eingebblasenen Wandsegmente, fotografiert von der Hallenaussenseite, ohne Deckplatten, mit eingelassenem Fenster zur späteren Beurteilung der Dämmstoffe von der Halleninnenseite her.

Es wurden fünf Wandsegmente mit den Dämmstoffen Isofloc Standard, Isofloc/Hanf, Hanf, 2B Gratec und eine Isofloc-Variante mit neuartiger Pilz- und Brandschutzausrüstung (Saware®) eingebblasen. Ein Wandsegment besteht bei der vorliegenden Hallenwand-Konstruktion aus einer vollständig getrennten oberen und unteren Kammer. Diese Kammern sind jeweils durch 4 senkrechte nicht durch die gesamte Hohlraumtiefe gehende Stege unterteilt, wodurch 5 miteinander verbundene Kammern entstehen. Jede Kammer wurde einzeln durch ein oben mittig angebrachtes Loch eingebblasen, wobei die benachbarten Kammern jeweils vorgeschlaucht wurden. Der totale Zeitbedarf (Maschinenbetriebsdauer ohne Rüstzeiten, Maschine SHS 2.2) unterscheidet sich für die, durch die Isofloc AG eingebblasenen Materialien kaum - trotz unterschiedlicher Maschineneinstellungen. Die Einblaszeiten und Maschineneinstellungen für die 2B Gratecfasern konnten nicht vergleichbar erhoben werden. Die Bestimmung der eingebblasenen Dämmstoffmengen erfolgte über Rückwägen des nicht verbrauchten Materials. Die Einblasdichte wurde über das geometrisch ermittelte Segmentvolumen (2.41 m^3) berechnet (Abbildung 10, S. 22).



Die auf der Halleninnenseite eingelassenen Fenster erlauben die Sichtkontrolle und die Demonstration der eingeblasenen Materialien (Abbildung 6). Der reine Hanfdämmstoff entwickelte in der Beschickungseinheit der Einblasmachine starke Staubemissionen, die bei den anderen Dämmstoffen nicht auftraten. Ausserdem müssen bei Hanf die in der Verpackung stark zusammengepressten Fasern vor dem Beschicken manuell aufgelockert werden, was eine maschinelle Beschickung mit den vorhandenen Anlagen verunmöglicht. Weiter neigt der reine Hanfdämmstoff zu Brückenbildung beim Einblasen, was ein manuelles Nachverdichten erfordert, wie im oberen Teil der Abbildung ersichtlich. Die Mischung Hanf-Isofloc liess sich problemlos verarbeiten, zeigte aber eine leichte, tolerierbare Neigung zur Brückenbildung sowie eine erhöhte Staubentwicklung. Die Verarbeitung der Dämmstoffe Isofloc Saveware® und 2B Gratec war problemlos.

Abbildung 6: Sichtfenster der Halleninnenseite für den Hanfdämmstoff (Die bauseits angebrachten, waagrecht verlaufenden Installationen hängen nicht mit dem Versuch zusammen).

Setzungsverhalten

Ausser beim reinen Hanfdämmstoff und bei der geprüften Qualität A des 2B Gratec-Dämmstoffes konnte in der Demonstrationswand der FAT-Prüfhalle 3 Monate nach Einbau keine Setzung der Dämmstoffe beobachtet werden. Der reine Hanfdämmstoff hat sich während 2 Monaten nach dem Einblasen in dem 184 cm hohen Wandelement in der FAT-Prüfhalle um ca. 5 cm gesetzt. Dies ist am oberen Rand des eingelassenen Sichtfensters deutlich zu erkennen. Es war keine weitere Setzung während des darauf folgenden Monats zu beobachten.

Ebenso war eine Setzung beim 2B Gratec-Dämmstoff (Qualität A) zu beobachten. Hier betrug die Setzung bereits nach 2 Monaten nach dem Einblasen mindestens 20 cm, welche sich im darauf folgenden Monat auf 30 cm erhöhte. Die starke Setzung beim 2B Gratec-Dämmstoff ist auch auf den im nächsten Abschnitt beschriebenen thermographischen Aufnahmen der Dämmwand zu erkennen. Aufgrund dieses Befundes wurde eine Qualität B entwickelt, die einen höheren Anteil an stützenden, sich verknäuelnder Fasern enthält. Zur quantitativen Erfassung der Gratec Qualitäten wurde eine Siebanalyse durchgeführt (Abbildung 7).

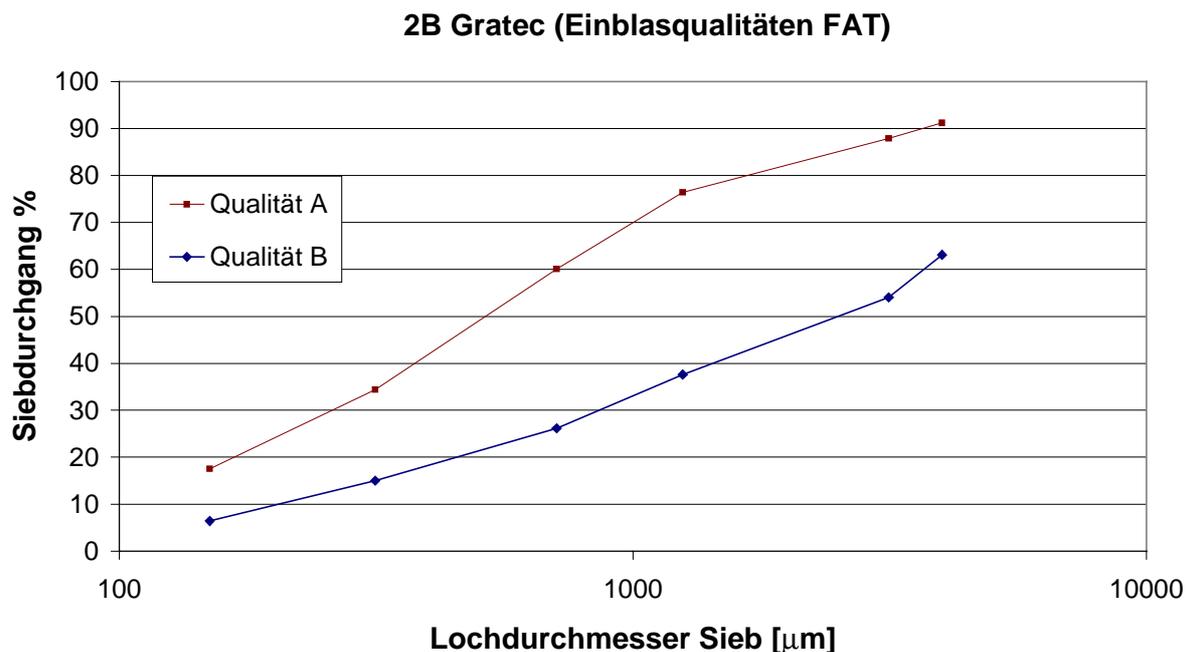


Abbildung 7: Siebanalyse der beiden 2B Gratec Qualitäten. Qualität B hat den höheren Anteil an Fasern, die Knäuel bilden und ist dadurch setzungssicherer als Qualität A. Quelle: 2B AG.

Die 2B Gratec Qualität B besitzt einen Anteil von mehr als 35 % Fasern, die so verknäueln, dass sie das Sieb mit Lochdurchmesser 4000 μm nicht passieren. Diese Fasern wirken stützend, was eine erhöhte Setzungssicherheit bringt. Der Anteil dieser Stützfasern aus dieser Siebfraction liegt bei Qualität A unter 10 %. Ausserdem zeigt Qualität B deutlich weniger Staubanteil (passiert Sieb mit Lochdurchmesser 150 μm), was bei der Verarbeitung von Vorteil ist. Es ist anzumerken, dass die Siebanalyse des 2B Gratec-Dämmstoffes nicht 1:1 mit Siebanalysen von anderen Cellulose-Einblasdämmstoffen vergleichbar ist, da sich die Fasern aufgrund ihrer Geometrie in der Analyse anders verhalten. Die 2B Gratec Qualität A in der Pilotwand an der FAT wurde nachträglich durch Qualität B ersetzt (4.4.2002). Aufgrund der erst kurzen Beobachtungszeit (Ende April), kann zu diesem Zeitpunkt keine gesicherte Aussage über das Setzungsverhalten gemacht werden.

Thermographie

Für die thermographischen Aufnahmen der FAT-Prüfhalle wurde die Halle während 3 Tagen auf 28 °C geheizt. Die Aufnahmen erfolgten ohne Sonneneinstrahlung von der Hallenaussenseite her bei einer Aussentemperatur von 2.4 °C. Das in Abbildung 8 exemplarisch dargestellte Thermogramm des ersten Segmentes der gedämmten FAT-Prüfhalle weist ein sehr homogenes Dämmbild nach. Es wurden nur geringe Unterschiede in der Oberflächentemperatur gemessen, die auch auf äussere Einflüsse zurückgeführt werden könnten (Spiegelungen, Feuchtedifferenzen). Gut sichtbar sind die durchgehenden

horizontalen und vertikalen Holzbalken der Wandkonstruktion, deren Wärmeleitfähigkeit höher ist als diejenige der Dämmstoffe. Die Bitumenbänder, mit welchen die Stöße der Abdeckplatten abgedichtet wurden, zeigen ein anderes Reflexionsverhalten im IR-Bereich als die rauhe Oberfläche der Abdeckplatten. Daher sind sie auf den Thermogrammen sichtbar. Ihre Oberflächentemperatur ist aber in Realität nicht zwingend höher. Die Thermogramme der Wandsegmente mit den Dämmstoffen Hanf/Isofloc, Isofloc und Isofloc Saveware® zeigen vergleichbare Bilder. Die fein aufgelösten relativen Temperaturunterschiede innerhalb eines Thermogrammes dürfen nicht als exakte absolute Temperatur betrachtet werden, da keine Kalibrierung vorgenommen wurde. Daher dürfen die Farbwerte der einzelnen Thermogramme untereinander nicht direkt verglichen werden. Über die absoluten Dämmwerte gibt die unten beschriebene Wärmeleitfähigkeitsmessung Auskunft. Die oben beschriebene Setzung des 2B Gratec Dämmstoffes (Qualität A) lässt sich im entsprechenden Wandsegment in der unteren Wandkammer sehr deutlich thermographisch nachweisen (Abbildung 9). In der oberen Kammer ist dieser Effekt von der Wärmeausstrahlung des über der Kammer befindlichen Sichtfensters überschattet. Im direkten Vergleich mit den entsprechenden Kammern der anderen Dämmstoffe in derselben Wandkonstruktion lässt sich die Setzung aber dennoch erkennen. Die Setzung des Hanfdämmstoffes ist mit 5 cm zu gering, um im Thermogramm sichtbar zu werden, da die Wandkonstruktion an dieser Stelle einen durchgehenden Holzbalken aufweist, dessen Wärmebrücke den Effekt der Setzung überschattet.

Wandsegment 1, Dämmstoff: Hanf

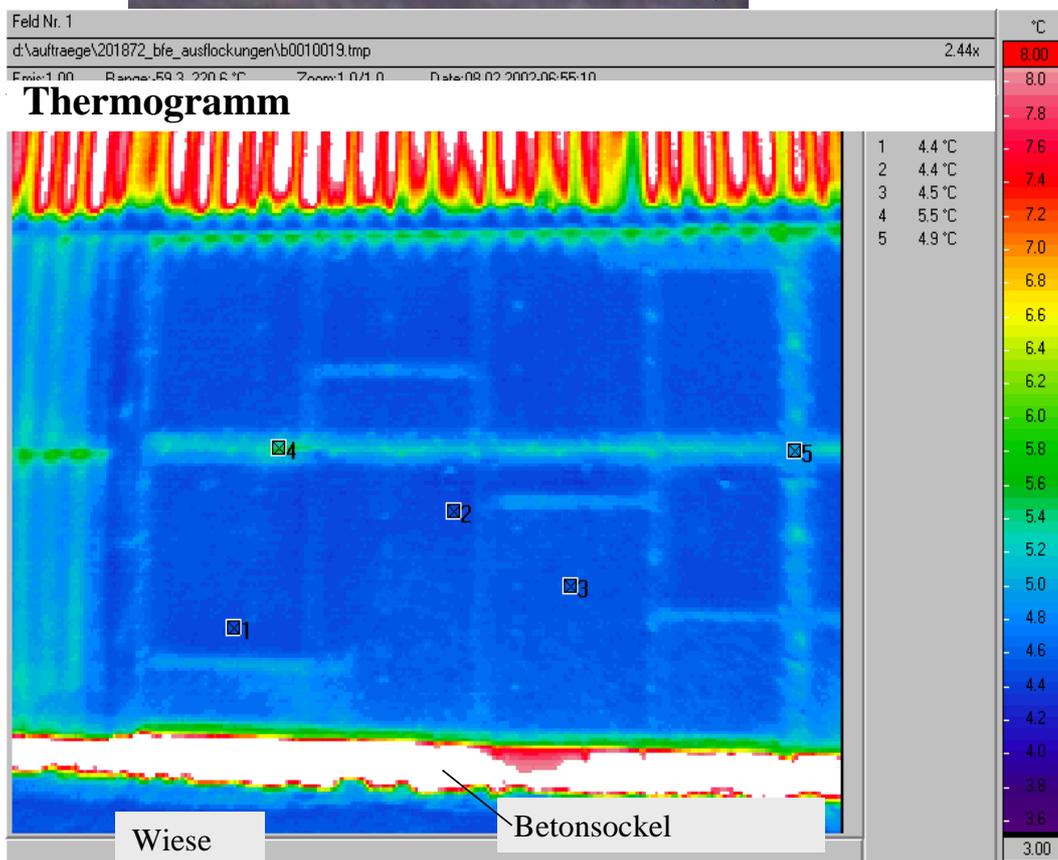
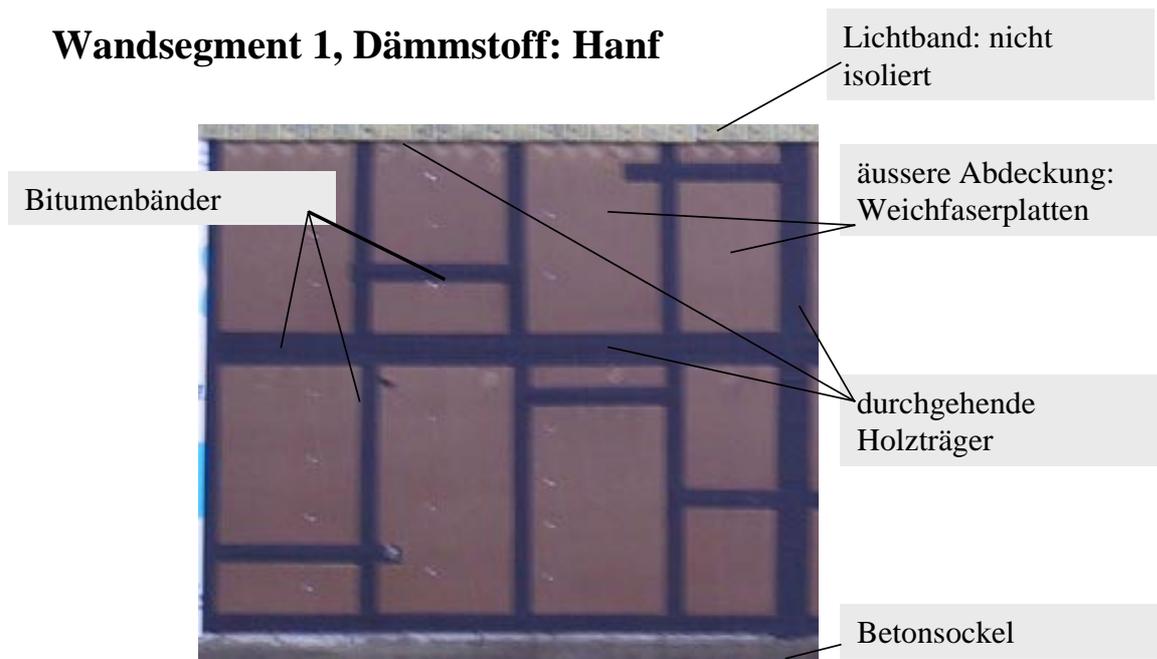
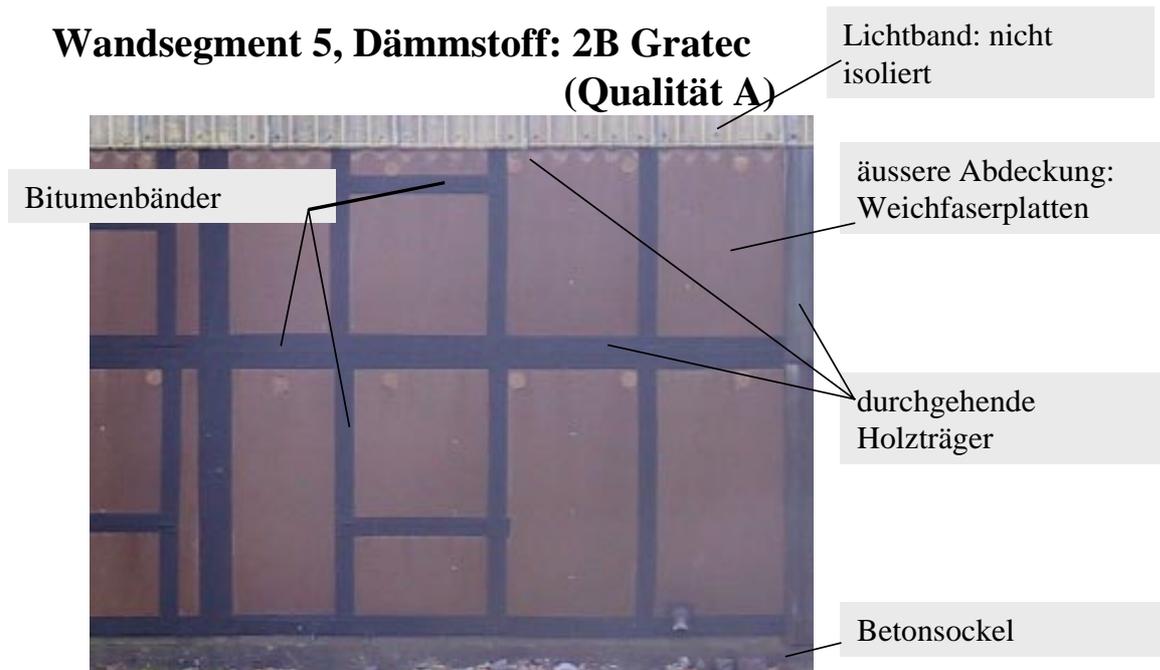


Abbildung 8: Wandaussenansicht des mit dem Hanfdämmstoff isolierten Segmentes nach Entfernung der Eternitabdeckung mit dazugehörigem Thermogramm, welches ein sehr homogenes Dämmbild nachweist. Deutlich sind die Balken der Wandkonstruktion zu erkennen.

Wandsegment 5, Dämmstoff: 2B Gratec (Qualität A)



Thermogramm

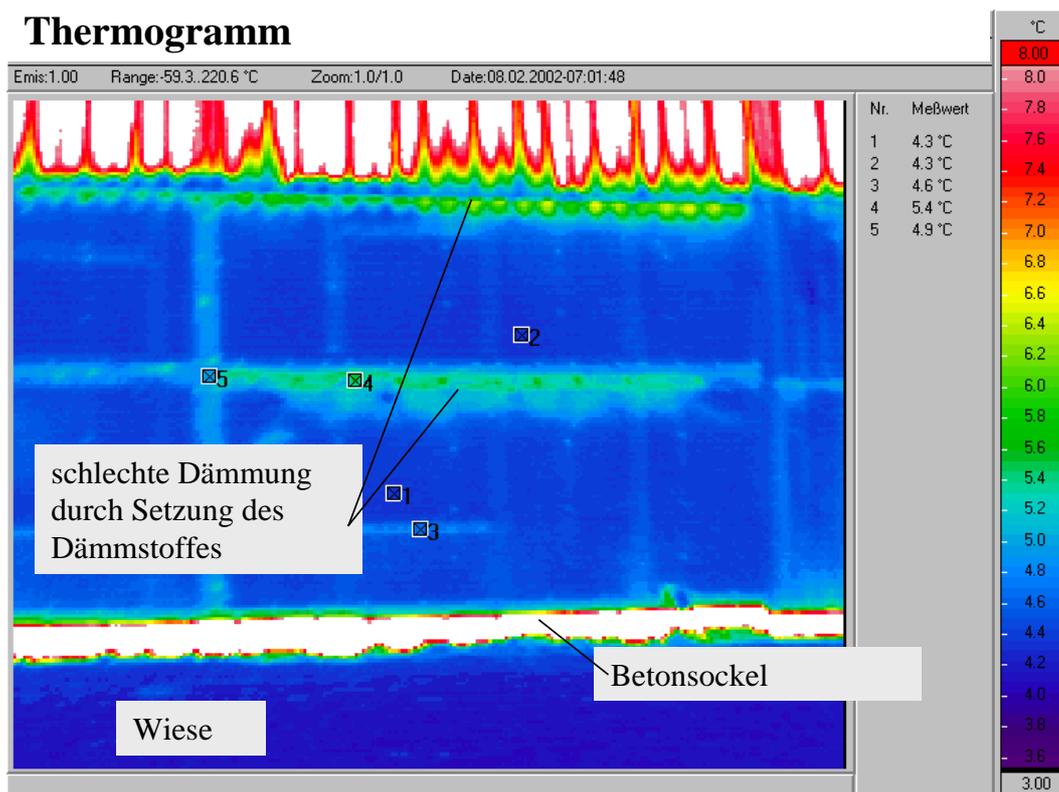


Abbildung 9: Wandaussenansicht des mit dem 2B Gratec-Dämmstoff isolierten Segmentes nach Entfernung der Eternitabdeckung mit dazugehörigem Thermogramm. Der durch die Setzung des Dämmstoffes entstandene Hohlraum stellt eine deutliche Wärmebrücke dar.

Messung der Wärmeleitfähigkeit mittels λ -Sonde THERM 2227-2

Die Wärmeleitfähigkeit der eingeblasenen Dämmstoffe wurde 2 Monate nach dem Einblasen (2B Gratec Qualität B: 1 Woche) direkt in der oben beschriebenen Dämmwand gemessen.

Die dazu verwendete λ -Sonde arbeitet mit einer heizbaren Sondenspitze, die einen konstanten Wärmestrom solange in den zu messenden Dämmstoff einspeist, bis ein Gleichgewicht zwischen aufgewendeter Heizenergie und der in den Dämmstoff abfließenden Wärme eingetreten ist. Das Verhältnis der sich ergebenden Aufheizkurve zur benötigten Zeit ergibt ein Mass für die Wärmeleitfähigkeit. Die physikalischen Grundlagen zur Messmethodik sind in ² erläutert. Der Messvorgang wird durch das Messgerät, das die Wärmeleitfähigkeit in W/(m K) ausgibt, automatisch gesteuert.

Die Messungen erfolgten 1 m über Boden mit der 9 cm langen Sonde von der Halleninnenseite her an 5 Messstellen pro Dämmstoff.

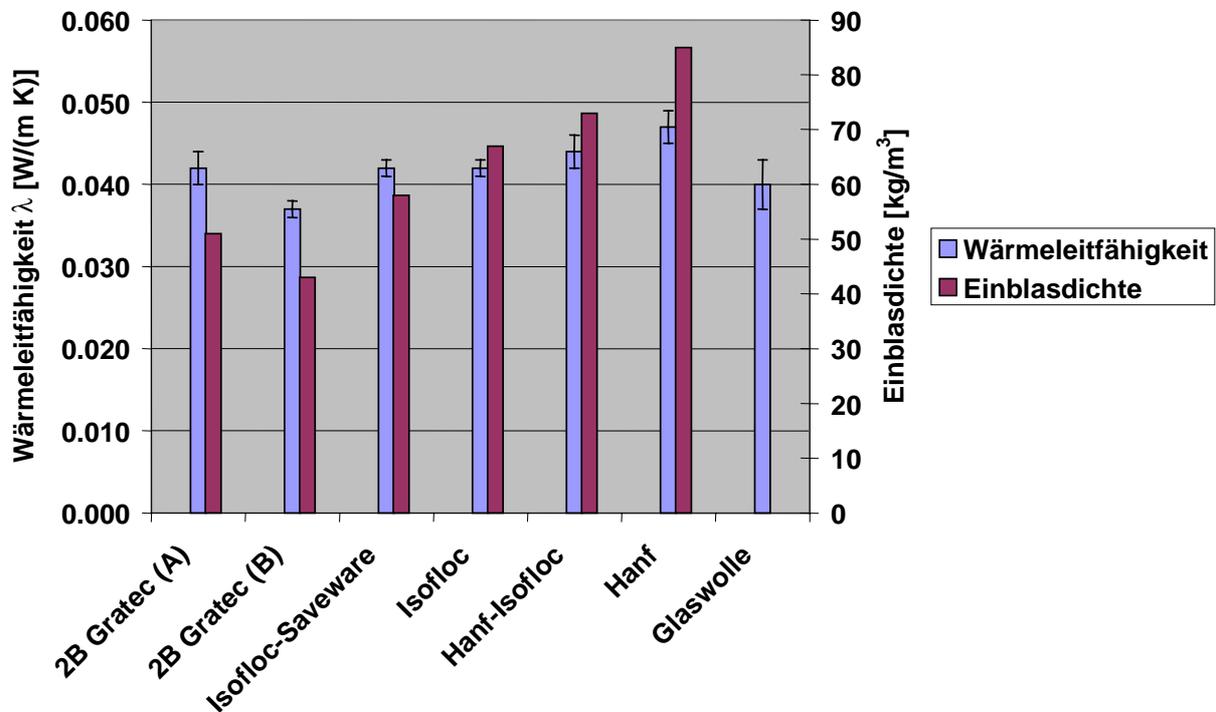


Abbildung 10: Wärmeleitfähigkeit und Einblasdichte der entwickelten Dämmstoffe direkt am Bauobjekt gemessen. Die Glaswollendämmung am selben Objekt dient als Vergleich.

Die Wärmeleitfähigkeit von 2B Gratec (A), Isofloc-Saveware und Isofloc ist mit 0.042 W/(m•K) identisch, wobei die Werte bei 2B Gratec (A) eine etwas höhere Streuung aufweisen. Der reine Hanfdämmstoff, der aufgrund seines Setzungsverhaltens mit einer hohen Einblasdichte von 85 kg/m³ eingeblasen werden musste, weist die höchste Wärmeleitfähigkeit von 0.047 W/(m•K) auf, während die Wärmeleitfähigkeit der Mischung Hanf-Isofloc zwischen derjenigen von Hanf und Isofloc zu liegen kommt. Auch die

² [Häupl, P., Stopp, H., Wellner, K., Mikrorechnergestütztes Messgerät zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit in Dämmstoffen mit der Nadelsonde. Bauzeitung 43 1. 1989, pp. 15-16]

Dämmstoffe Hanf und Hanf-Isofloc weisen eine etwas höhere Streuung als die beiden Isofloc-Varianten auf. Bei der Gratec Qualität B war aufgrund des hohen Stützfaseranteils im Vergleich zu Qualität A eine niedrige Einblasdichte von 43 kg/m^3 realisierbar. Die Wärmeleitfähigkeit ist mit $0.037 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ bei der 2B Gratec Qualität B am niedrigsten von allen untersuchten Dämmstoffen inkl. der Glaswollreferenz. Aufgrund der erst kurzen Beobachtungszeit, kann noch keine gesicherte Aussage über das Setzungsverhalten der 2B Gratec-Qualität B gemacht werden.

6. Ökologische Grobbewertung

Zur kombinierten Berechnung der Wirtschaftlichkeit, der Ökobilanz sowie sozialer Konsequenzen wurde dem Projektteam der Einsatz des Berechnungsmodells S-E-E-Tool vorgeschlagen. Die auf dem Markt zueinander konkurrierenden Firmen des Projektteams waren aufgrund der dazu nötigen Preisgabe von firmenspezifischen Daten nicht bereit, das Tool einzusetzen. Daher konnte bezüglich Ökologie nur eine grobe Bewertung erstellt werden. Die Aussagen basieren v.a. auf Erfahrungswerten und Publikationen³, welche im Rahmen anderer Projekte erhoben wurden, in welchen die Ausgangsmaterialien Hanf, Gras, Altpapier bewertet worden sind. Diese Ergebnisse lassen Rückschlüsse zu, dürfen aber nicht als abschliessend gewertet werden, da nur die Erstellung einer Ökobilanz unter Berücksichtigung der aktuellen Daten eine genaue Aussage ermöglicht.

Zu folgende Punkten lassen sich Aussagen treffen:

Produktion

Für die ökologische Bewertung spielt der Material- und Energieeinsatz zur Erstellung des Endproduktes eine entscheidende Rolle. Bei landwirtschaftlich produzierten Rohstoffen wirkt sich daher die Intensität der Feldbestellung stark aus. Es kann davon ausgegangen werden, dass der Anbau von Hanf als Ackerfrucht pro hergestellter Dämmstoffeinheit einen höheren Aufwand (Traktorstunden, Saatgut, Dünger etc.) benötigt als die Produktion von Gras. Ebenso ist die Produktion einer Klee-gras-Mischung mit hohem Ertrag als aufwendiger einzustufen, als die Produktion einer extensiven Wiese bzw. von ökologischen Ausgleichsflächen.

Als vorteilhaft kann bei der Grasfaserproduktion genannt werden, dass die entstehenden Koppelprodukte Biogas oder Ethanol und Proteinfutter Wertstoffe darstellen, womit die Ökobelastung des Gesamtverfahrens auf mehrere Produkte verteilt werden kann (Allokation).

³ - Wolfensberger, Dinkel et al., 1997. Beurteilung nachwachsender Rohstoffe in der Schweiz in den Jahren 1993-1996. Im Auftrag des Bundesamtes für Landwirtschaft.

- Real, M. et. al., Jahr. Biotreibstoffe

- Dinkel, F., 2002. Persönliche Mitteilung.

Die Faserproduktion aus Altpapier wird in Ökobilanzen als wenig umweltbelastend eingestuft⁴. Kann davon ausgegangen werden, dass Altpapier ein Abfall darstellt d.h. eine geringe Nachfrage besteht, fällt die Bewertung besser aus als bei der Annahme, dass das Papier sich im Kreislauf befindet und kontinuierlich zu rund einem Siebtel für die Papierindustrie aus Holz erneuert werden muss. Vergleicht man die Umweltbelastungspunkte (UBP97) aus der Literatur⁴, entspricht die Umweltbelastung durch den Einsatz von Altpapier im Maximum derjenigen eines extensiv produzierten Agrarproduktes.

Aufbereitung/Ausrüstung

Die Aufbereitung der Fasern zu einem Dämmstoff erfordert einerseits Verfahren, um die Fasern aufzuschliessen und andererseits Prozesse, um diese mit Brand- und Pilzschutzmitteln auszurüsten.

Die Faserausrüstung erfolgt bei Isofloc, Hanf und dem Isofloc-Hanf-Gemisch mit 12% Boraten (7 % Borax, 5 % Borsäure⁵). Ebenfalls Borax wird bei 2B Gratec eingesetzt. Die Applikation erfolgt hier in einem Nassauftrag, was eine Reduktion der Dosierung auf 3 % ermöglicht⁵. Als weiteres Mittel, welches bei Isofloc zum Einsatz kommt, ist das von der IBF AG in Zusammenarbeit mit der EMPA St. Gallen neu entwickelte Safeware® zu nennen. Die Zusammensetzung ist vertraulich, wurde aber der Projektleitung mitgeteilt.

Borax ist im Vergleich zu Safeware® bezüglich Fisch- und Bakterientoxizität als geringer einzustufen. Borax wirkt im Gegensatz zu Safeware® auf Pflanzen toxisch. Die Wahrscheinlichkeit eines Austritts von Isolationsmaterial in entsprechende Biotope dürfte aber im Regelfall eher klein sein. Ob und wie die Ausrüstungsmittel in die Umwelt geraten, hängt von Haftung und Konzentration auf den Fasern ab. Zur Abklärung dieser Frage wäre jedoch ausführliche Labortests notwendig. Bezüglich Humantoxizität sind beide Stoffe der Giftklasse 5 zuzuordnen. Die Inhaltsstoffe von Saveware® erreichen einzeln betrachtet eine Umweltbelastungszahl, die gleich bzw. bis 10 mal geringer ist als diejenige von Borax oder Borsäure. Insgesamt ist damit die Herstellung von Saveware® weniger umweltbelastend als die Herstellung von Borax bzw. Borsäure.

Entsorgung

Aufgrund ihrer organischen Anteile dürfen die untersuchten Dämmstoffe nicht deponiert, sondern müssen nach der Technischen Verordnung für Abfälle (TVA) der Verbrennung in einer Kehricht-Verbrennungsanlage zugeführt werden. Eine Aufbereitung oder ein Recycling ist grundsätzlich denkbar.

Die bei der Verbrennung entstehenden Emissionen sowie die Ascherückstände fallen bei allen untersuchten Dämmstoffen ähnlich gering aus.

⁴ Altpapiervermarktung: Logistik/Ökobilanz. Schmidweber, A.; Dinkel, F.; 2001, AWEL, Kanton Zürich.

Staubemissionen

Bei der Verarbeitung fallen die starken Staubemissionen bei Hanf auf. Obwohl dieser Staub keine schädigende Menge lungengängiger (PM10) Partikel enthält, ist doch zumindest eine Reizung der Atemwege für die Verarbeiter nicht auszuschliessen.

Die festgestellten Aussagen erlauben keine umfassende ökologische Beurteilung. Es lassen sich daraus keine schlagkräftigen Argumente ableiten, die den landwirtschaftlich produzierten Dämmstoffen klare ökologische Vor- oder Nachteile gegenüber den auf Altpapier basierenden Cellulosedämmstoffen zuweisen.

7. Wirtschaftlichkeit

7.1. Marktpotential

7.1.1. Mischung Hanf/Isofloc

Die Mischung Hanf/Isofloc kommt in der Herstellung teurer als die reinen Dämmstoffe, da zwei separate Aufschlussverfahren für Altpapier und für Hanf durchgeführt werden müssen. Ausserdem kommt der Aufwand für die Herstellung der Mischung hinzu. Zusätzlich zu diesem Mehraufwand stellte sich heraus, dass wegen des Setzungsverhaltens eine etwas höhere Einblasdichte gewählt werden muss, was zu einer geringfügig höheren Wärmeleitfähigkeit führt und mehr Materialverbrauch pro isoliertem Volumen mit sich zieht. Das Produkt ist also technisch dem Konkurrenzprodukt Isofloc unterlegen und gleichzeitig teurer. Dies ohne nachweislich ökologische Vorteile. Aus den dargelegten Gründen wird das Marktpotential der Mischung Hanf/Isofloc als sehr gering eingestuft. Es ist dem Projektteam dann auch trotz intensiver Bemühungen bis zur Fertigstellung des Berichtes nicht gelungen eine Bauherrschaft für ein weiteres Demonstrationsobjekt zu finden. Dem erhöhten Aufwand bei der Mischungsherstellung könnte durch eine neu zu entwickelnde Aufschlussstechnik begegnet werden, bei welcher die Altpapier und Hanfaufbereitung in derselben Aufschlusseinheit stattfindet.

7.1.2. Hanf

Die Untersuchungen am reinen Hanfdämmstoff haben gezeigt, dass trotz der gewählten sehr hohen Einblasdichte die Setzungssicherheit nicht gegeben ist. Mit der hohen Einblasdichte geht auch eine erhöhte Wärmeleitfähigkeit einher. Ausserdem neigt das Produkt zu Brückenbildungen beim Einblasen, was manuelles Nachstopfen bei den Dämmarbeiten erfordert. Das Faserprodukt kann noch nicht als ausgereift bezeichnet werden. Das Aufschlussverfahren muss so modifiziert werden, dass ein Faserprodukt entsteht, das ein besseres Einblasverhalten bei erhöhter Setzungssicherheit gewährleistet. Daher kann der hier entwickelte Hanfdämmstoff zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht als

⁵ Firmenangabe

praxis- und marktreif für die grosstechnische Anwendung gelten. Diesen Ergebnissen entsprechend wurde noch kein Demonstrationsobjekt ausgeführt.

7.1.3. Isofloc mit IBF Saveware® System

Wie bereits unter 5.2 angeführt stellt das Saveware® eine konsequente Entwicklung für Dämmstoffe auf biogener Basis dar, welche dem Bedürfnis des Marktes nach boratfreiem, umweltverträglichem Brand- und Pilzschutz entspricht. Das System ist nicht nur bei zellulosehaltigen Dämmstoffen wirksam, sondern eignet sich für alle schüttbaren Faser-, Flocken- oder Spänedämmstoffe, die in ökosensitiven Bereichen zum Einsatz kommen. Kostentechnisch liegt Saveware® im Bereich konventioneller Brandschutzadditive (Borax / Borsäure etc.). Bei ganzheitlicher Betrachtung (Produktion, Produkteigenschaft, Einsatz und Marketing) lassen sich Vorteile für den Hersteller und den Endkunden realisieren.

Zusammenfassend lässt sich das System wie folgt charakterisieren:

Verbessertes Setzungsverhalten, reduzierte Staubemissionen, gleichbleibende, homogene Verteilung, geruchsfrei, hygienisch einwandfrei, höherer Komfort auf allen Stufen bei vergleichbaren Kosten.

7.1.4. 2B Gratec

Mit dem Fraktionierungsverfahren der 2B AG fallen bei der Herstellung von 2B Gratec-Fasern auch ein Proteinkonzentrat sowie ein Energieträger an. Die Herstellkosten können je nach Marktlage auf die verschiedenen Produkte abgewälzt werden. Dank der niedrigen Einblasdichte der Gratec-Qualität B und der damit verbundenen niedrigen Wärmeleitfähigkeit reduziert sich für dieselbe Dämmwirkung im Vergleich zu den anderen untersuchten Einblasdämmstoffen die benötigte Dämmstoffmenge. Voraussetzung dazu ist eine gute Setzungssicherheit des Produktes, die noch nicht abschliessend beurteilt werden kann. Der neue 2B Gratec-Dämmstoff wurde bereits in mehreren Gebäudeisolationen eingesetzt.

7.2. Ökonomischer Vergleich

Zur Beurteilung der Marktchancen und der Marktakzeptanz der untersuchten Einblasdämmstoffe spielen neben den technischen und ökologischen Aspekten die Kosten eine wesentliche Rolle. Aus Gründen der Datenvertraulichkeit und mangels Angaben war es nicht möglich, alle Kosten zu erfassen.

Für die Aufwendungen der Faseraufbereitung und der Dämmstoffherstellung lagen keine detaillierten Daten vor. Die folgende Betrachtung beschränkt sich daher auf die Bereitstellung der Rohstoffe. Es handelt sich somit nicht um eine abschliessende Betrachtung, liefert jedoch entscheidende Anhaltspunkte, da der Rohstoffpreis in der Wirtschaftlichkeits-Betrachtung eine wichtige Rolle spielt.

Bezüglich der Kosten ist zu beachten, dass der Faseraufschluss von Hanf und Gras mit höheren Aufwendungen verbunden ist als derjenige von Altpapier. Letzteres muss nur

zerfasert werden, während bei den ersteren eine landwirtschaftliche Produktion mit anschliessendem mechanischem Aufschluss inkl. der Abtrennung von Abfall- und Nebenprodukten notwendig ist. Die eigentliche Verarbeitung der Fasern zu Dämmstoffen kann als vergleichbar betrachtet werden.

7.2.1. Grundlagen für die Kostenberechnungen der Rohstoffbereitstellung

Als Vergleichsgrösse wurde diejenige Rohstoffmenge betrachtet, welche notwendig ist, um 100 kg Fasern bzw. Papierflocken herzustellen. Dabei wurden die folgenden Ausbeuten berücksichtigt:

Hanf:	25% von TS (Trockensubstanz)
Gras:	50% von TS ⁶
Kleegras:	50% von TS ⁶
Altpapier:	95% des gesammelten Papiers

Betrachtet wurden die folgenden Aufwendungen:

Gras und Hanf:

- Direkte Kosten des Anbaus
- Variable Kosten des Anbaus
- Strukturkosten des landwirtschaftlichen Anbaus
- Lohnkosten: Diese wurden aus dem Erlös, den Aufwendungen und der Arbeitszeit berechnet und
- Direktzahlungen (Subventionen des Bundes)

Altpapier:

- Kosten der Sammlung, Logistik-Kosten
- Lohnkosten

Aufteilungen der Aufwendungen

Während Hanf und Altpapier nur für die Herstellung von Fasern bzw. Papierflocken verwendet werden, werden aus Gras verschiedene Produkte hergestellt. Es handelt sich dabei um die folgenden Produkte: Biogas bzw. Ethanol, Futtermittel, Fasern

Entsprechend müssen die Aufwendungen auf diese verschiedenen Produkte aufgeteilt werden. Diese Aufteilung wurde dem Bericht ‚Treibstoffe aus Biomasse‘ BFE, 1998, entnommen und den oben angegebenen Rohfaserausbeuten entsprechend angepasst. In diesem Bericht werden die folgenden Aufteilungen verwendet:

- Kleegras: 50 % zu Lasten der Fasern
- Extensives Gras: 60 % zu Lasten der Fasern

Entsprechend wurden die Direktzahlungen und Aufwendungen nur gemäss Grasfaseranteil belastet.

⁶ Firmenangabe

Berechnete Szenarien

Um die einzelnen Dämmstoffe zu vergleichen und die verschiedenen Perspektiven des Landwirts, des Dämmstoffproduzenten und aus volkswirtschaftlicher Sicht zu betrachten, wurden fünf Varianten angenommen. Verglichen wird jeweils mit Fasern aus Altpapier. Hierbei wird angenommen, dass sich bei einem Altpapierpreis von Fr. 20 pro 100 kg beim Papiersammeln ein Stundenlohn von Fr. 38 erzielen lässt. Alle Berechnungen basieren auf einer produzierten Fasermenge von 100 kg. In den folgenden Balkendiagrammen werden die Produktionskosten blau dargestellt, die vom Bund bezahlten Direktzahlungen rot. Würde der Bauer auf derselben Fläche Weizen anbauen, resp. in derselben Zeit Altpapier sammeln, wäre sein Verdienst um den gelb dargestellten Betrag höher.

Auf dieser Basis wurden die folgenden Szenarien berechnet. Die Datengrundlagen und Berechnungen finden sich im Anhang.

Variante 1: Ist-Zustand

Der Bund bezahlt Fr. 2'800.- Flächenbeitrag pro Hektar für den extensiven Anbau des nachwachsenden Rohstoffes. Die Kosten des Bauern sind gedeckt. Angenommen wird, dass der Rohstoff zu den daraus entstehenden Kosten am Markt abgesetzt wird (Abbildung 11).

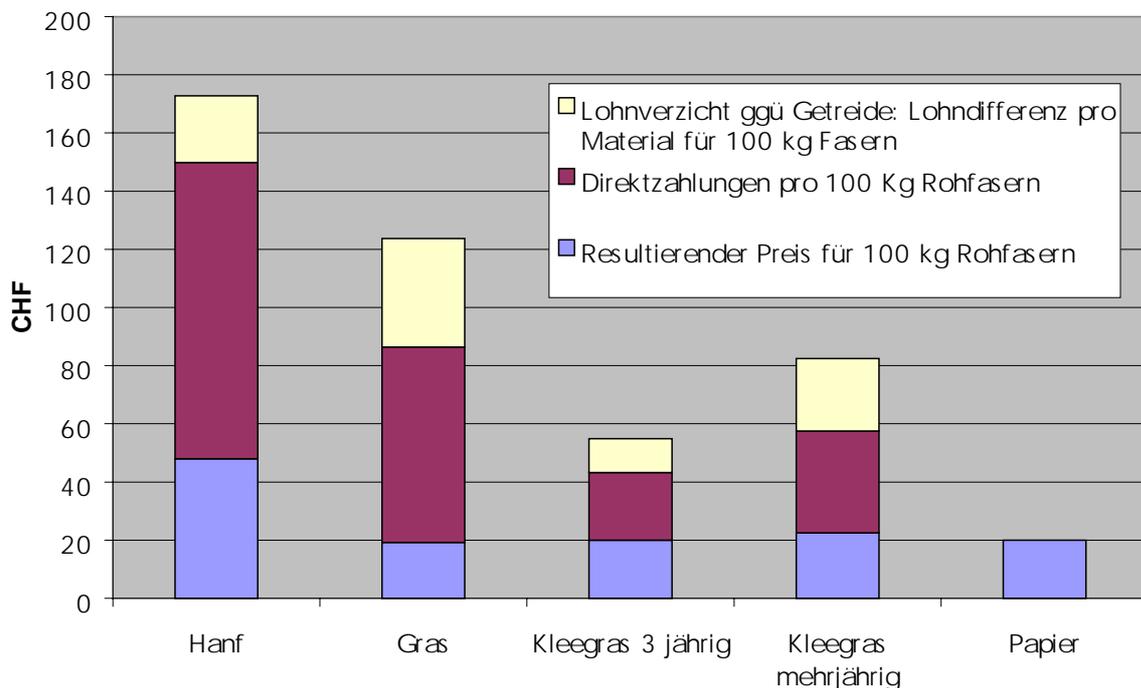


Abbildung 11: Variante 1: Ist Zustand. Angaben bezüglich dem landwirtschaftlichen Anbau nach Angaben der LBL/FAT.

Variante 2: Bauer verdient Fr. 40.- /h (Annahme)

Variante 2 geht davon aus, dass der Bauer einen Stundenlohn von Fr. 40.- erzielt. Dies entspricht einer guten Ackerfrucht, die er anstelle des nachwachsenden Rohstoffes anbauen könnte. Die Annahmen des Direktzahlungsbeitrages (Fr. 2'800.-/ha) und des vollständigen Absatzes bleiben gleich. Um diesen Stundenlohn zu erwirtschaften, muss der Bauer je nach Rohstoff einen Preis von Fr. 21.- bis Fr. 64.-/100 kg erhalten. Diese Rohstoffkosten der landwirtschaftlich produzierten Dämmstoffe übersteigen deutlich die Altpapierpreis-Konkurrenz.

Trotz des angenommenen Stundenlohnes von Fr. 40.- ergibt sich bei der Produktion der nachwachsenden Rohstoffe eine Lohneinbusse gegenüber Getreide (auf die bewirtschaftete Fläche bezogen). Dies ergibt sich aus dem geringeren Zeitbedarf pro Hektar bei den landwirtschaftlich produzierten Dämmstoffen.

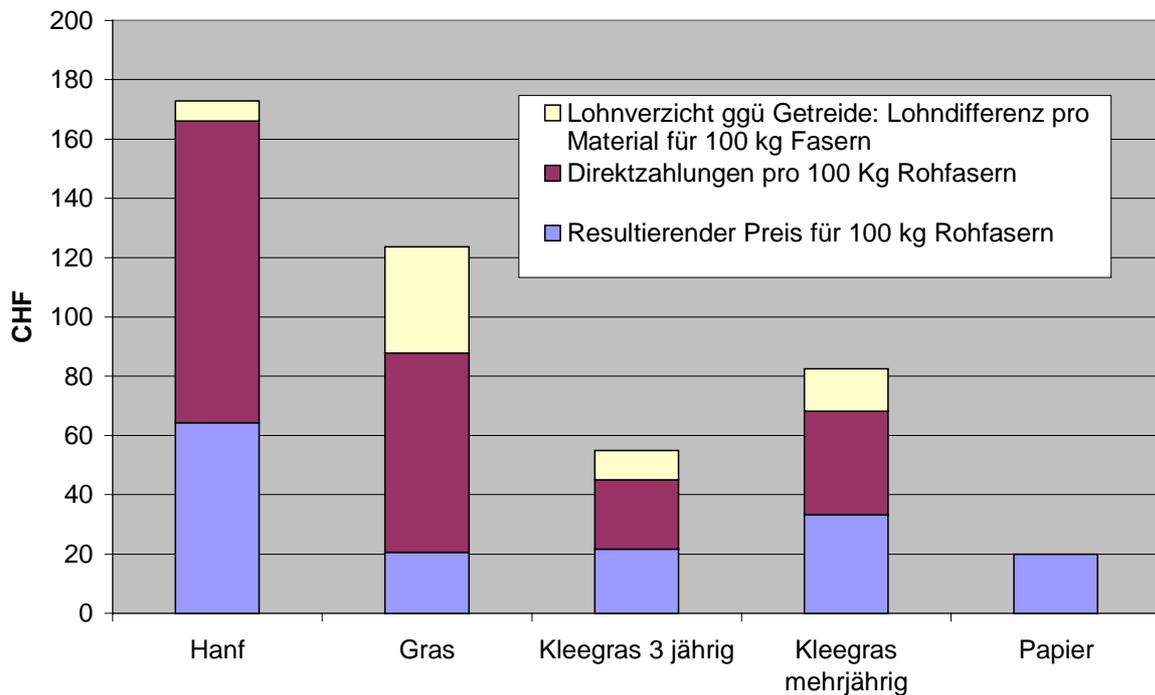


Abbildung 12: Variante 2: Bauer verdient Fr. 40.- /h (Annahme)

Variante 3: Marktpreis für das Material

In diesem Szenario wird berechnet, wie hoch der Verdienst des Bauern ist, wenn er nur den Marktpreis erhält. Dieser richtet sich beim Gras nach den Futtermittelpreisen. Da es bei Hanf keinen Marktpreis gibt, wurde ein Marktpreis für Fasern von Fr. 20.-/100 kg angenommen, entsprechend den Kosten von Papierflocken. Dies führt beim Hanf zu Kosten, die die Einnahmen knapp übersteigen, was zu einem Stundenlohn von theoretisch minus Fr. 3.- führt. Bei den Grasrohstoffen hingegen bleibt der Stundenlohn auf einem Niveau zwischen Fr. 17.- und Fr. 36.-.

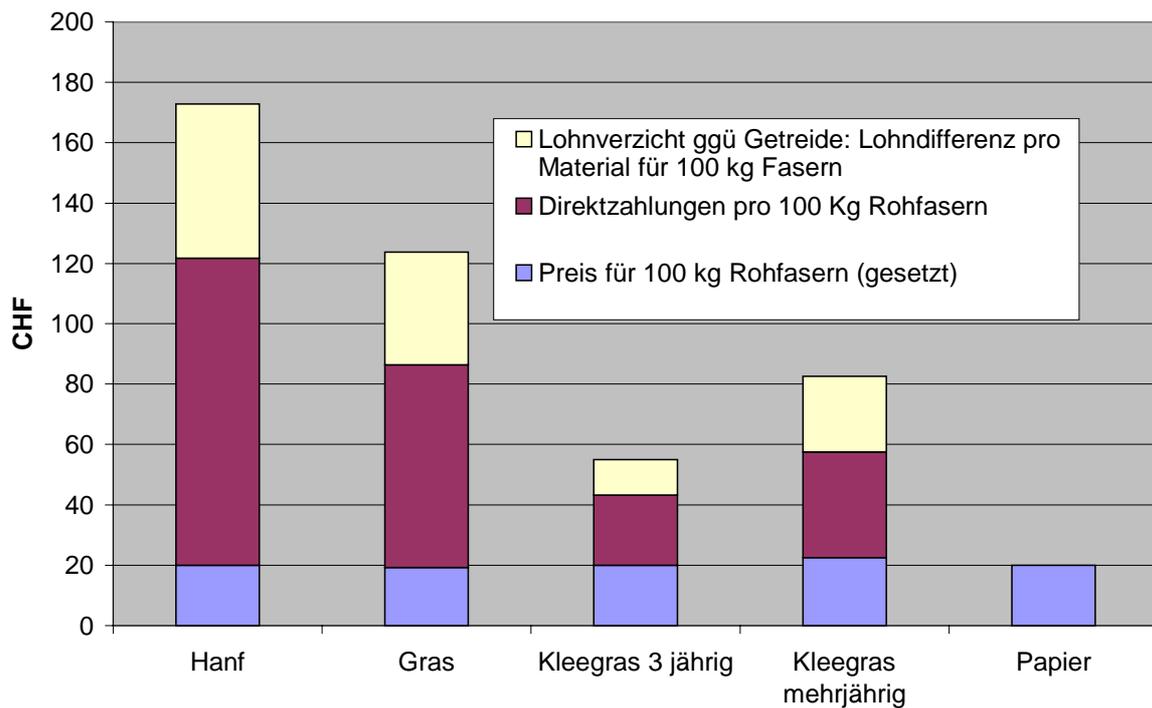


Abbildung 13: Variante 3: Marktpreis für das Material

Variante 4: Marktpreis für Material und 40.- Stundenlohn (Annahme)

In diesem Szenario wurde berechnet wie hoch die Direktzahlungen sein müssten, wenn der Produkterlös gleich dem Marktpreis ist und der Bauer 40.- Stundenlohn erreichen will. Untenstehender Tabelle ist zu entnehmen, welche Direktzahlungsbeträge pro Hektar daraus resultieren.

Tabelle 3: Notwendige Direktzahlungen bei Fr. 40.- Stundenlohn und Marktpreisen für die Rohstoffe

Kultur	Notwendige Direktzahlungen [Fr./ha]
Hanf	4018
Gras	2858
Klee gras 3 jährig	2997
Klee gras mehrjährig	3656

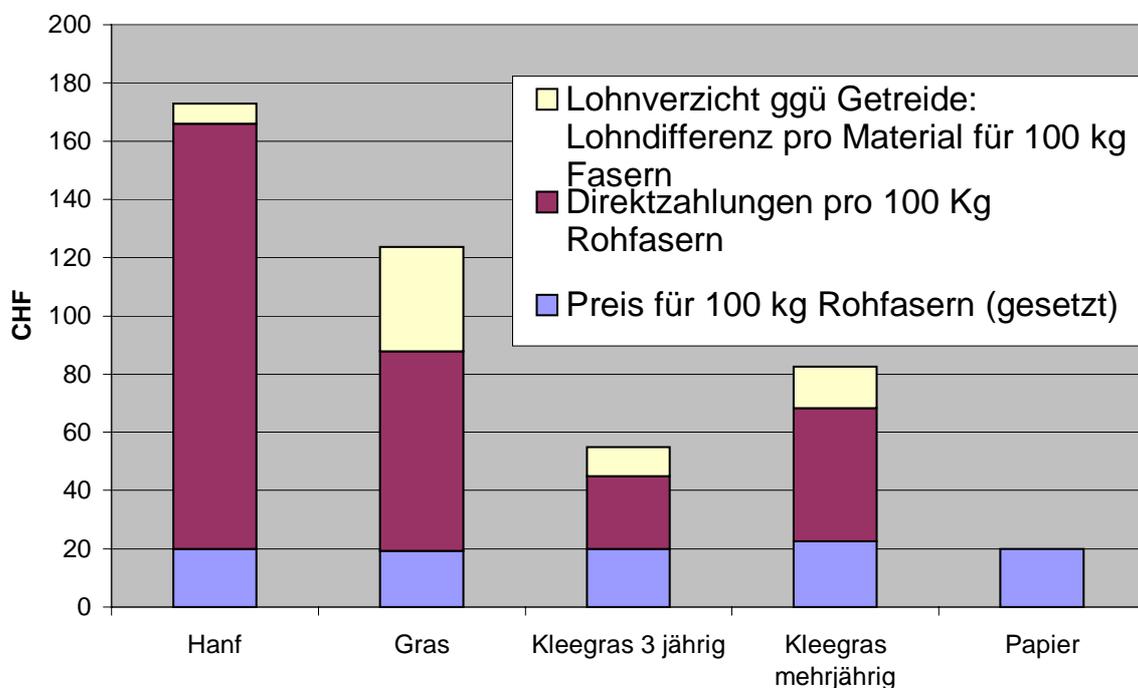


Abbildung 14: Variante 4: Marktpreis für den Rohstoff und Fr. 40.- Stundenlohn für den Landwirt.

Variante 5: Marktpreis für Material keine Direktzahlungen:

In diesem Szenario wird berechnet, wie hoch der theoretische Verdienst des Bauern ist, wenn er nur den Marktpreis erhält und keine Direktzahlungen bezahlt werden. Dieser Ansatz führt zu negativen Stundenlöhnen zwischen minus Fr. 42.- und minus Fr. 120.-.

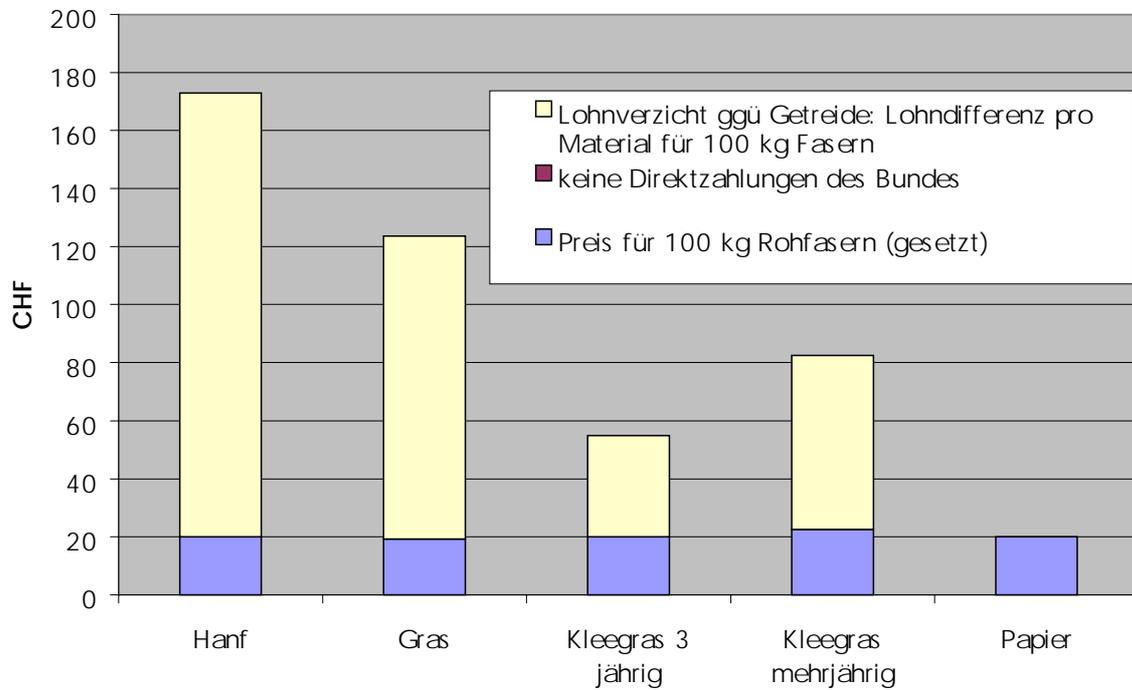


Abbildung 15: Variante 5: Marktpreis für Material keine Direktzahlungen:

8. Schlussfolgerungen

Die technischen, ökonomischen und ökologischen Eigenschaften, sowie die landwirtschaftliche Umsetzbarkeit werden in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** als vergleichende Übersicht dargestellt.

Hanfdämmstoffe

Für die Dämmstoffanwendung bietet Hanf keine technischen Vorteile gegenüber dem Isofloc-Standard. Ebenso können im Vergleich zu Altpapierdämmstoff keine ökologischen Vorteile ausgewiesen werden und dies bei starken ökonomischen Nachteilen. Daher sind die Hanffasern für Dämmstoffe wenig prädestiniert. Dieselben Überlegungen gelten auch für die Mischung Hanf-Isofloc. Die Hanffaser bietet jedoch Eigenschaften, die Anwendungen mit höheren technischen Anforderungen und somit auch mit höherer Wertschöpfung zulassen wie z.B. im Industrie-, Textil- oder Verbundwerkstoffsektor.

Grasdämmstoffe

Mit der Produktion von Gras für Dämmstoffe kann der Landwirt je nach Wiesentyp und Direktzahlung Stundenlöhne erreichen, die höher liegen als bei der Hanfproduktion bzw. mit gewissen Kulturen des Ackerbaus vergleichbar sind. Aufgrund der groben ökologischen Abschätzung liegt die Umweltbelastung durch Grasdämmstoffe zwischen derjenigen der Hanfdämmstoffe und der Altpapierreferenz. Die auf die niedrigere Einblasdichte zurückzuführenden besseren Dämmeigenschaften stellen einen Vorteil dar unter der Bedingung, dass sich der eingeblasene Dämmstoff nicht setzt.

Brand- und Pilzschutzausrüstung Saveware®

Die mit Saveware® ausgerüsteten Altpapierdämmstoffe lassen sich mit etwas niedrigerer Einblasdichte verarbeiten, was sich allerdings kaum auf die Wärmeleitfähigkeit auswirkt. Es stellt aber einen Kostenvorteil dar. Aus technischer und ökologischer und Sicht verbessert die Saveware-Ausrüstung den Isofloc-Dämmstoff gegenüber der mit Borsalzen ausgerüsteten Standard-Variante.

Aufgrund des schrittweisen Vorgehens und der kontinuierlichen Weiterentwicklung der Produkte über das Projektende hinaus, können die Ergebnisse nicht als abschliessend betrachtet werden, sondern widerspiegeln vielmehr den jeweiligen Entwicklungsstand.

Tabelle 4: Die wichtigsten Eigenschaften der untersuchten Dämmstoffe im Vergleich zum Isofloc Standard

Dämmstoff/Rohstoff	technische Eigenschaften	Ökologie	Ökonomie	Landwirtschaft
Isofloc Standard	<ul style="list-style-type: none"> ▪ mittlere Einblasdichte ▪ mittlerer λ-Wert ▪ keine Brückenbildung ▪ sehr gutes Setzungsverhalten ▪ kaum Staubentwicklung ▪ langjährige Erfahrung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ wenig umweltbelastend 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ langjährig am Markt führender Einblasdämmstoff 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ kein landwirtschaftliches Erzeugnis
Hanf	<ul style="list-style-type: none"> ▪ hohe Einblasdichte ▪ hoher λ-Wert ▪ Brückenbildung ▪ leichtes Setzen ▪ Staubentwicklung ▪ Weiterentwicklung notwendig ▪ natürliche Pilzresistenz ▪ Potential für technisch hochwertigere Anwendungen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ landwirtschaftsbedingte Belastung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ unwirtschaftlich für Landwirt und Dämmstoffhersteller ▪ Marketingvorteil 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ interessant in der Fruchtfolge, arbeitsextensiv
Hanf-Isofloc	<ul style="list-style-type: none"> ▪ hohe Einblasdichte ▪ hoher λ-Wert ▪ etwas Staubentwicklung ▪ hoher Produktionsaufwand 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ landwirtschaftsbedingte Belastung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ kaum marktfähig 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ interessant in der Fruchtfolge, arbeitsextensiv
2B Gratec B optimierte Variante	<ul style="list-style-type: none"> ▪ niedrigste Einblasdichte ▪ niedrigster λ-Wert ▪ leichte Staubentwicklung ▪ Setzungsverhalten nicht abgeklärt 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ bei extensivem Anbau geringere Belastung als bei Hanf 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ auf dem Markt erhältlich 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Für den Bauern lukrativer als Hanf, je nach Anbauart mit Ackerkulturen vergleichbarer Stundenlohn erzielbar
Saware® System auf Isofloc	<ul style="list-style-type: none"> ▪ niedrigere Einblasdichte ▪ niedriger λ-Wert ▪ sehr gutes Setzungsverhalten ▪ kaum Staubentwicklung ▪ durch Kombination mit Isofloc bewährte Eigenschaften 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ beste Werte im Vergleich 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ marktauglich, etwas höherer Marktpreis wird durch geringeren Volumenbedarf kompensiert 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ kein landwirtschaftliches Erzeugnis

9. Nationale und internationale Zusammenarbeit

Folgende Institutionen waren am Projekt beteiligt:

- Läderach Agro AG, Henggart
- 2B AG, Dübendorf
- Isofloc AG, St.Gallen
- Landwirtschaftliche Beratungszentrale, Lindau (LBL)
- Eidg. Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), Tänikon
- EMPA, St. Gallen und Dübendorf
- IBF Innovative Bio Fibre Corporation AG, St.Gallen
- Ing'büro HERSENER, Wiesendangen

Durch die Zusammenarbeit mit den Herstellerfirmen 2B AG, Dübendorf und Läderach agro AG, Henggart wurden Gras- bzw. Hanffasern zu Einblaszwecken entwickelt und in Einblasversuchen bei der Firma Isofloc AG in St. Gallen getestet. Die Firma Isofloc AG, St.Gallen ist Marktleader bei Einblasdämmstoffen auf Cellulosebasis und brachte bei den Einblasversuchen Einrichtungen, Personal und Know-how bezüglich Einblastechnik, Praxistauglichkeit, Marktfähigkeit und Produkterfordernissen ein. Im Verlaufe des Projektes hat die 2B AG ebenfalls Einblasexperten angestellt und vermarktet heute ihre Fasern selbstständig.

Für die Vermarktung der Endprodukte waren Prüfungen insbesondere bezüglich Isolationswirkung, Brandschutzverhalten und biologischer Stabilität von entscheidender Bedeutung. Dies wurde durch die Mitarbeit der EMPA Dübendorf und St.Gallen sichergestellt. Der Firma IBF AG, St.Gallen oblag einerseits die Koordination der EMPA-Versuche in St.Gallen und andererseits die technische Unterstützung der Firma Isofloc AG im Projekt bezüglich Entwicklung neuer Brandschutzkonzepte, Faserqualitätsanforderungen sowie Mischungsrezepturen mit dem bestehenden Cellulosedämmstoff.

Die LBL, Lindau bewertete die Wirtschaftlichkeit bei der landwirtschaftlichen Produktion der nachwachsenden Rohstoffe Gras und Hanf. Die Koordination und Projektleitung erfolgten im Namen der Eidg. Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT) in Tänikon. Den Projektpartnern sei gebührend gedankt, wurden doch weit mehr Eigenleistungen in das Projekt eingebracht als vertraglich vereinbart.

10. Umsetzung und Perspektiven

Die Produktion von Dämmstoffen aus Grasfasern (2B Gratec) aus der Gras-Bioraffinerie in Schaffhausen ist angelaufen. Diese industriell hergestellten 2B Gratec-Fasern fallen in höherer Reinheit an als die in obigen Vorversuchen verwendeten Fasern aus der Versuchsanlage in Märwil, entsprechen aber den, für den Einblasversuch verwendeten Fasern. Es wird erwartet, dass die biologische Aktivität dieses Materials sehr viel kleiner ist als das der Märwiler Variante. Dies soll in entsprechende Pilzresistenztests und Brandprüfungen im Rahmen der baurechtlichen B2 Zulassung für 2B Gratec Fasern nachgewiesen werden.

Neben der oben beschriebenen Demonstrationswand (2B Gratec, Hanf, Hanf-Isoloc und Isoloc) wurden folgende Objekte mit 2B Gratec gedämmt: Materialmenge

- Altbausanierung in Wolfhausen (CH) , Decken, Wände, Boden ca. 1 t
- 2 Steildächer Neubau in Trasedingen (CH) ca. 2 t
- Minergie Haus in Romanshorn (CH) , Dämmstärken bis 30 cm ca. 3 t
- Physiotherapie-Zentrum Hallau (CH) ca. 2 t
- Altbausanierung in Bern (CH) ca. 2 t

Weitere Referenzprojekte der Firma 2B AG finden sich auch unter: www.2bio.ch

Referenzprojekte der Firma isofloc, können unter: www.isofloc.ch abgerufen werden.

In Zusammenarbeit mit dem Projekt sind die Produkte 2B Gratec (Einblasdämmstoff aus Gras) und Saveware® (borfreie Brand- und Pilzschutzausrüstung) entstanden bzw. weiterentwickelt worden, welche beide bereits auf den Markt drängen.

11. Anhang

11.1. Berechnungsgrundlagen Hanf

Titel: Hanf

		Rohstoffpreis pro 100 Kg	Aufbereitung kosten	Direktzahlungen pro 100 Kg Rohfasern	Std. Lohn	Arbeitsstd.	
V1	Alle Kosten für Landwirt gedeckt	12	48.00	101.82	24	28.5	Berechnet Eingabewert
	Faserausbeute	25%					
	Ertrag in 100 Kg pro ha	110					
	Beiträge ÖLN (Subvention) in CHF pro ha	2'800					
	Ertrag aus gerntetem Material	1320					
	Direkte Kosten	1031					
	Variable + Strukturkosten	2397					
V2	Bauer verdient 40.- / Std	16.07	64.29	101.82	40	28.5	1 Allokationsfaktor
	Faserausbeute	25%					
	Ertrag in 100 Kg pro ha	110					
	Beiträge ÖLN (Subvention) in CHF pro ha	2'800					
	Ertrag aus gerntetem Material	1768					
	Direkte Kosten	1031					
	Variable + Strukturkosten	2397					
V3	Marktpreis für Material	5.00	20.00	101.82	-3	28.5	
	Faserausbeute	25%					
	Ertrag in 100 Kg pro ha	110					
	Beiträge ÖLN (Subvention) in CHF pro ha	2'800					
	Ertrag aus gerntetem Material	550					
	Direkte Kosten	1031					
	Variable + Strukturkosten	2397					
V4	Marktpreis für Material 40.- Std Lohn	5.00	20.00	146.11	40	28.5	
	Faserausbeute	25%					
	Ertrag in 100 Kg pro ha	110					
	Beiträge ÖLN (Subvention) in CHF pro ha	4'018					
	Ertrag aus gerntetem Material	550					
	Direkte Kosten	1031					
	Variable + Strukturkosten	2397					
V5	Marktpreis für Material keine Subvention	5.00	20.00	0.00	-101	28.5	
	Faserausbeute	25%					
	Ertrag in 100 Kg pro ha	110					
	Beiträge ÖLN (Subvention) in CHF pro ha	0					
	Ertrag aus gerntetem Material	550					
	Direkte Kosten	1031					
	Variable + Strukturkosten	2397					

11.2. Berechnungsgrundlagen Ökogras

Titel: Öko Gras		Kosten pro 100 kg Rohfasern ohne Aufbereitungskosten		Direktzahlun gen pro 100 Rohfasern	Std. Lohn	Arbeitsstd.	
	Rohstoffpreis pro 100 Kg	16	19.20	67.20	36.78	17.9	
V1	Alle Kosten für Landwirt gedeckt						
	Faserausbeute	50%					
	Ertrag in 100 Kg pro ha	50					
	Beiträge ÖLN (Subvention) in CHF pro ha	2'800					
	Ertrag aus gerntetem Material	800					
V2	Bauer verdient 40.- / Std	17.16	20.59	67.20	40	17.9	
	Faserausbeute	50%					
	Ertrag in 100 Kg pro ha	50					
	Beiträge ÖLN (Subvention) in CHF pro ha	2'800					
	Ertrag aus gerntetem Material	857.83					
	Direkte Kosten	293.83					
	Variable + Strukturkosten	2648					
V3	Marktpreis für Material	16.00	19.20	67.20	37	17.9	
	Faserausbeute	50%					
	Ertrag in 100 Kg pro ha	50					
	Beiträge ÖLN (Subvention) in CHF pro ha	2'800					
	Ertrag aus gerntetem Material	800					
	Direkte Kosten	293.83					
	Variable + Strukturkosten	2648					
V4	Marktpreis für Material 40.- Std Lohn	16.00	19.20	68.59	40	17.9	
	Faserausbeute	50%					
	Ertrag in 100 Kg pro ha	50					
	Beiträge ÖLN (Subvention) in CHF pro ha	2'858					
	Ertrag aus gerntetem Material	800					
	Direkte Kosten	293.83					
	Variable + Strukturkosten	2648					
V5	Marktpreis für Material keine Subvention	16.00	19.20	0.00	-120	17.9	
	Faserausbeute	50%					
	Ertrag in 100 Kg pro ha	50					
	Beiträge ÖLN (Subvention) in CHF pro ha	0					
	Ertrag aus gerntetem Material	800					
	Direkte Kosten	293.83					
	Variable + Strukturkosten	2648					

Berechnet
Eingabewert

0.6 Allokationsfaktor

11.3. Berechnungsgrundlagen Klee gras 3-jährig

Titel: Klee Gras 3 jährig		Kosten pro 100 kg Rohfasern ohne		Direktzahlun gen pro 100	Std. Lohn	Arbeitsstd.	Berechnet Eingabewert
		Rohstoffpreis pro 100 Kg	Aufbereitung skosten	Rohfasern Kg			
V1	Alle Kosten für Landwirt gedeckt	20	20.00	23.33	34.63	36.6	
	Faserausbeute 50%						
	Ertrag in 100 Kg pro ha	120					
	Beiträge ÖLN (Subvention) in CHF pro ha	2'800					
	Ertrag aus gerntetem Material	2400					0.5 Allokationsfaktor
V2	Bauer verdient 40.- / Std	21.64	21.64	23.33		40	
	Faserausbeute 50%						
	Ertrag in 100 Kg pro ha	120					
	Beiträge ÖLN (Subvention) in CHF pro ha	2'800					
	Ertrag aus gerntetem Material	2597					
	Direkte Kosten	453.83					
	Variable + Strukturkosten	3478.92					
V3	Marktpreis für Material	20.00	20.00	23.33		35	
	Faserausbeute 50%						
	Ertrag in 100 Kg pro ha	120					
	Beiträge ÖLN (Subvention) in CHF pro ha	2'800					
	Ertrag aus gerntetem Material	2400					
	Direkte Kosten	453.83					
	Variable + Strukturkosten	3478.92					
V4	Marktpreis für Material 40.- Std Lohn	20.00	20.00	24.97		40	
	Faserausbeute 50%						
	Ertrag in 100 Kg pro ha	120					
	Beiträge ÖLN (Subvention) in CHF pro ha	2'997					
	Ertrag aus gerntetem Material	2400					
	Direkte Kosten	453.83					
	Variable + Strukturkosten	3478.92					
V5	Marktpreis für Material keine Subvention	20.00	20.00	0.00		-42	
	Faserausbeute 50%						
	Ertrag in 100 Kg pro ha	120					
	Beiträge ÖLN (Subvention) in CHF pro ha	0					
	Ertrag aus gerntetem Material	2400					
	Direkte Kosten	453.83					
	Variable + Strukturkosten	3478.92					

11.4. Berechnungsgrundlagen Klee gras mehrjährig

Titel: Klee Gras		Kosten pro 100 kg Rohfasern ohne Aufbereitungskosten		Direktzahlun gen pro 100 Kg Rohfasern	Std. Lohn	Arbeitsstd.	
	Rohstoffpreis pro 100 Kg	22.50	35.00				
V1	Alle Kosten für Landwirt gedeckt	18	22.50	35.00	17.24	37.6	Berechnet
	Faserausbeute 40%						Eingabewert
	Ertrag in 100 Kg pro ha	100					
	Beiträge ÖLN (Subvention) in CHF pro ha	2'800					0.5 Allokationsfaktor
	Ertrag aus gerntetem Material	1800					
V2	Bauer verdient 40.- / Std	26.56	33.20	35.00	40	37.6	
	Faserausbeute 40%						
	Ertrag in 100 Kg pro ha	100					
	Beiträge ÖLN (Subvention) in CHF pro ha	2'800					
	Ertrag aus gerntetem Material	2655.86					
	Direkte Kosten	448.5					
	Variable + Strukturkosten	3503.36					
V3	Marktpreis für Material	18.00	22.50	35.00	17	37.6	
	Faserausbeute 40%						
	Ertrag in 100 Kg pro ha	100					
	Beiträge ÖLN (Subvention) in CHF pro ha	2'800					
	Ertrag aus gerntetem Material	1800					
	Direkte Kosten	448.5					
	Variable + Strukturkosten	3503.36					
V4	Marktpreis für Material 40.- Std Lohn	18.00	22.50	45.70	40	37.6	
	Faserausbeute 40%						
	Ertrag in 100 Kg pro ha	100					
	Beiträge ÖLN (Subvention) in CHF pro ha	3'656					
	Ertrag aus gerntetem Material	1800					
	Direkte Kosten	448.5					
	Variable + Strukturkosten	3503.36					

11.5. Berechnungsgrundlagen Papiersammlung

	Rohstoffpreis pro 100 Kg	Std. Lohn	Arbeitsstd.
Altpapier aus Sammlung	20	38	100
Faserausbeute	95%		
Sammelmenge in 100 Std.	20 t		
Bundesbeiträge in CHF	0		

