Elektrifizierung von Maschinen und Energieeffizienz

Dieses Faktenblatt wurde im Rahmen des Pilotprojekts «Klimaneutrale Landwirtschaft Graubünden» erarbeitet und die Resultate werden im Schlussbericht zum Monitoring durch Agroscope weiter eingeordnet.

Durch die Elektrifizierung von Maschinen und die Steigerung der Energieeffizienz können Treibhausgasemissionen aus fossilen Brenn- und Treibstoffen reduziert werden. Elektrische Antriebe sind effizienter als Verbrennungsmotoren und verursachen geringere Treibhausgasemissionen. Ergänzend senken Effizienzmassnahmen bei Antrieben, Gebäuden oder Heizsystemen den Energieverbrauch und damit die Emissionen. Eine zeitlich flexible Nutzung oder Produktion von Strom, etwa durch den Einsatz von Steuerungen und Speichern, ermöglicht zusätzliche Einsparungen an Treibhausgasemissionen.

Monitoring: Die Reduktionen lassen sich anhand des verringerten Treibstoff- oder Stromverbrauchs einfach berechnen. Strom- und Treibstoffrechnungen liefern eine verlässliche Datengrundlage zur Ermittlung der Einsparungen. Bei Flexibilitäten können gespeicherte und verschobene Strommengen gemessen werden, die genaue Klimawirkung hängt jedoch vom Zeitpunkt des Bezugs ab. Künftig können automatisierte Energiemanagementsysteme diese Optimierung unterstützen.

Empfehlungen: Für Investitionen in Elektrifizierung oder Speichertechnologien sollte eine finanzielle Unterstützung oder Investitionshilfe bereitgestellt werden. Ergänzend wird ein Risikofonds empfohlen, um Landwirt:innen bei unerwarteten Ausfällen oder Minderleistungen seitens der Lieferanten abzusichern. Empfohlen werden Schulungen und Informationsangebote, um das Wissen zu Effizienzpotenzialen auf Betrieben zu stärken und Kurzberatungen bei Neuanschaffungen oder Bauprojekten sollen sicherstellen, dass Effizienz und Flexibilität von Beginn an mitgedacht werden.

Vertrauen in die Wirksamkeit	Effizienzmassnahmen und Elektrifizierung: Hohe Übereinstimmung & robuste Evidenz Flexibilitäten: Hohe Übereinstimmung & mittlere Evidenz
Zeithorizont	Sofort wirksam
Technische Bereitschaft	Anwendungsbereit
Annahmen Skalierung Graubünden	Energieeffizienz: Reduktion Stromverbrauch um 10 % Elektrifizierung: 70% des aktuellen Treibstoffeinsatzes wird durch Elektroantriebe ersetzt Flexibilitäten: 5-10 g/kWh Strom
Potenzial Graubünden	Energieeffizienz: ca. 0.15-0.2 kt CO_2-Äq. pro Jahr Elektrifizierung: 8.4 kt CO_2-Äq. pro Jahr Flexibilitäten: ca. 0.15-0.3 kt CO_2-Äq. pro Jahr

Klimaneutrale Landwirtschaft Graubünden

Inhalt

1 Emissionsprozess 1

2 Technisches Potenzial 1

2.1 Wirkungsmechanismus der Minderungsmassnahme 1

2.2 Technisches Potenzial der Minderungsmassnahme 1

2.3 Vertrauen in die Wirksamkeit 3

3 Systembetrachtung 3

3.1 Synergien 3

3.2 Limitierungen, Zielhierarchien 4

3.3 Kostenbetrachtungen 4

4 Überlegungen zum umsetzbaren Potential Kanton Graubünden 4

4.1 Erfahrungen aus den Pilotprojekten 5

5 Förderung und Überwachung 7

5.1 Monitoring, Reporting and Verifikation 7

5.2 Existierende und mögliche weitere Förderprogramme und Instrumente 7

6 Fazit und Empfehlung 7

7 Literatur 9

Impressum

Copyright:	Klimaneutrale Landwirtschaft Graubünden, Cazis 2026
Autor:innen:	M. Sattler
Fotos:	Bilderarchiv Klimaneutrale Landwirtschaft Graubünden
Datum	Juni 2026

Dieses Faktenblatt wurde im Rahmen des Pilotprojekts «Klimaneutrale Landwirtschaft Graubünden» erarbeitet und die Resultate werden im Schlussbericht zum Monitoring durch Agroscope weiter eingeordnet.

1 Emissionsprozess

Auf landwirtschaftlichen Betrieben werden beträchtliche Mengen an Energie in Form fossiler Treibstoffe und Strom genutzt. Der Energieverbrauch führt, je nach Energiequelle, zu unterschiedlichen Mengen an Treibhausgas- (THG)-Emissionen.

2 Technisches Potenzial

2.1 Wirkungsmechanismus der Minderungsmassnahme

Bei der Steigerung der Energieeffizienz, der Elektrifizierung von Maschinen und der Nutzung von Flexibilitäten geht es darum, Emissionen, die aus der Nutzung von fossiler Energie stammen, zu reduzieren.

Energieeffizienz*:*
Effizienzsteigerungen werden hauptsächlich bei Antrieben, Fahrzeugen oder bei Heizsystemen umgesetzt. Werden durch Effizienzsteigerungen Benzin oder Diesel eingespart, reduzieren sich die durch deren Verbrennung entstehenden CO_2-Emissionen. Wenn durch Effizienzsteigerungen Strom eingespart wird, werden die bei der Stromproduktion anfallenden THG-Emissionen reduziert.

Elektrifizierung:
Wenn eine Maschine elektrifiziert wird, fallen die THG-Emissionen aus der Verbrennung komplett weg, dafür müssen die THG-Emissionen der Stromproduktion angerechnet werden. Eine Verbesserung stellt sich ein, da elektrische Antriebe effizienter sind als Verbrennungsmotoren und Strom ein Energieträger mit tiefen spezifischen THG-Emissionen ist.

Wird ein Akku zur Speicherung des Stroms verwendet, so müssen die THG-Emissionen aus der Produktion des Akkus berücksichtigt werden. Die bei der Akkuproduktion entstehenden THG-Emissionen müssen auf die gespeicherte Strommenge verteilt werden. Je weniger ein Akku genutzt wird, desto höher sind die THG-Emissionen pro Kilowattstunde (kWh), weil sich die grauen Emissionen auf weniger gespeicherte Energie verteilen.

Flexibilitäten:
Bei allen Systemen, die auf Strom umgestellt werden, muss der Zeitpunkt des Strombezugs berücksichtigt werden. Strom aus der Steckdose hat nicht immer die gleiche Belastung mit THG-Emissionen pro kWh. In einer windstillen Nacht ist die THG-Belastung pro kWh höher als an einem sonnigen und windigen Tag. Dies weil in der windstillen Nacht kein erneuerbarer Strom aus Windenergieanlagen und Photovoltaik zur Verfügung steht und daher auch Gas- und Kohlekraftwerke mit hohen THG-Emissionen den Strom produzieren. Zur maximalen Reduktion der THG-Emissionen muss daher der Strom dann bezogen werden, wenn gleichzeitig erneuerbarer Strom produziert wird. Stromverbraucher oder Produktionsanlagen, bei denen der Zeitpunkt des Strombezugs/der Stromerzeugung gewählt werden kann, werden «Flexibilitäten» genannt.

Ein Akku ist für die Elektrifizierung von Fahrzeugen zwingend. Gleichzeitig kann derselbe Akku mit entsprechender technischer Installation auch die elektrischen Geräte auf dem Betrieb versorgen oder sogar Strom ins Netz zurückspeisen. Diese doppelte (auch «bidirektionale») Anwendung eines Stromspeichers in einem Fahrzeug erhöht die Flexibilität und die Anzahl Speicherzyklen. Beides führt beim richtigen Einsatz zu einer Reduktion der THG-Emissionen. Ein Speicher muss dann geladen werden, wenn die THG-Belastung pro kWh tief ist. Wenn die THG-Belastung des Netzstroms hoch ist, sollen die elektrischen Geräte auf dem Betrieb aus dem Akku versorgt werden. Es ist dann sogar eine Rückspeisung ins Netz sinnvoll.

2.2 Technisches Potenzial der Minderungsmassnahme

Aus technischer Sicht sind in vielen Bereichen Effizienzmassnahmen verfügbar. Auch die Elektrifizierung von Fahrzeugen und Maschinen ist aktuell für fast alle Anwendungen möglich, hat aber noch Entwicklungspotenzial. Die Nutzung der Flexibilitäten ist heute noch wenig bekannt, wird sich aber in den kommenden Jahren sehr schnell entwickeln.

Energieeffizienz:
Die durch Effizienzmassnahmen eingesparte Menge an THG-Emissionen lässt sich für Brenn- und

Treibstoffe sowie Strom direkt aus der eingesparten Menge und den Emissionsfaktoren gemäss BAFU berechnen (BAFU, 2025). Pro Liter Treibstoff werden 2.62 kg CO_2-Äq./Liter (Diesel) und 2.32 kg CO_2-Äq./Liter (Benzin) eingespart. Beim Strom werden durchschnittlich 57 g CO_2-Äq./kWh eingespart (VSE, 2025). In der Regel lässt sich mit Effizienzmassnahmen der Energieverbrauch um mindestens 10% reduzieren (AgroClean Tech, n.d.; energie-experten, n.d.).

Elektrifizierung

Elektrifizierte Maschinen haben einen höheren Wirkungsgrad (80% beim Elektromotor gegenüber ca. 40-45% beim Dieselmotor und 30-35% beim Benzinmotor; Mobility Genossenschaft, n.d.; TÜV NORD, n.d.). Wird für die Bereitstellung von Antriebsenergie von einem Verbrennungsmotor auf einen Elektromotor gewechselt, kann unter Verwendung der genannten Effizienzen und Emissionsfaktoren eine Einsparung von rund 2.33 kg CO_2-Äq./Liter Diesel und 2.13 kg CO_2-Äq./Liter Benzin angenommen werden.

Wird zusätzlich ein Akku zur Speicherung des Stroms eingesetzt, so werden die THG-Emissionen durch Lade-/Entladeverluste von 15 % erhöht (Mobility Genossenschaft, n.d.; TÜV NORD, n.d.) und die Produktion des Akkus verursacht THG-Emissionen von rund 100 kg CO_2-Äq./kWh Speicherkapazität (Crenna et al., 2021; Llamas-Orozco et al., 2023). In Abhängigkeit der Anzahl Ladezyklen können so die THG-Emissionen pro kWh berechnet werden. Bei 100 Vollzyklen im Jahr und 15 Jahren Lebensdauer des Akkus liegen die zusätzlichen THG-Emissionen bei ca. 66 g CO_2-Äq./kWh gespeichertem Strom. Bei 300 Vollzyklen im Jahr liegen die zusätzlichen THG-Emissionen bei ca. 22 g CO_2-Äq./kWh gespeichertem Strom. Unter den genannten Annahmen kann durch die Umstellung bei Fahrzeugen von Diesel auf Strom im besten Fall 2.2 und im schlechtesten Fall 1.9 kg CO_2-Äq. pro Liter Diesel eingespart werden. Bei der Umstellung von Benzin auf Strom können im besten Fall 2 und im schlechtesten Fall 1.85 kg CO_2-Äq. eingespart werden.

Die bisher genannten THG-Reduktionen basieren auf der Annahme einer durchschnittlichen THG-Belastung des Stroms in der Schweiz von 57 g CO_2-Äq./kWh (VSE, 2025). In Abhängigkeit der Jahreszeit, der Tageszeit und des Wetters ergeben sich stark schwankende THG-Belastungen des in der Schweiz verbrauchten Stroms (Electricity Maps ApS., 2025; Frauenhofer-ISE, n.d.). Für eine detaillierte Analyse der THG-Reduktionen ist daher die Berücksichtigung des exakten Zeitpunkts des Strombezugs notwendig. Das Durchführen einer detaillierten Analyse für alle relevanten Anwendungsfälle ist im Rahmen dieses Faktenblatts nicht möglich. Qualitative Aussagen zum Umgang mit stark schwankenden THG- Belastungen sind im Folgenden Abschnitt «Flexibilitäten» ausgeführt.

Tabelle 1: *THG-Emissionen nach Treibstoff und THG-Reduktionsmöglichkeiten durch die Elektrifizierung (Quellen siehe im Text).*

	THG-Emissionen [kg CO_2-Äq./Liter]	**THG-Emissionen [g CO_2-Äq./kWh]**	**THG-Reduktion Umstellung auf Strom [kg CO_2-Äq./Liter]**	**THG-Reduktion Umstellung auf Strom inkl. Akku [kg CO_2-Äq./Liter]**
Dieselmotoren	2.62		2.33	1.9 – 2.2
Benzinmotoren	2.32		2.13	1.85 – 2
Elektromotoren		57		

Flexibilitäten

Eine zeitliche Verlagerung des Stromverbrauchs (sog. Flexibilität) ist zwingend für die zukünftige Stabilität des Stromnetzes mit einem steigenden Anteil erneuerbarer Energien. Gleichzeitig kann mit der Nutzung von Flexibilitäten der THG-Ausstoss reduziert werden.

Die THG-Belastung des Stroms variiert in der Schweiz zwischen ca. 20 und 80 g CO_2-Äq./kWh (Electricity Maps ApS., 2025). Die tiefsten Werte werden an windigen Sommertagen erreicht, die höchsten Werte in Winternächten. Allein durch die Wahl des Zeitpunkts des Strombezugs können sich so die Emissionen um den Faktor 4 unterscheiden. Der Zeitpunkt des Strombezugs oder der Stromproduktion ist daher relevant für die Erzielung von THG-Reduktionen.

Da das Stromnetz in ganz Europa verbunden ist, kann auch die Systemgrenze Schweiz für die Betrachtung der THG-Belastung des Stroms hinterfragt werden. Für Deutschland liegt die THG-Belastung des Stroms z.B. zwischen 300 – 450 g CO_2-Äq./kWh. Für Norwegen liegen die Werte permanent unter 30 g CO_2-Äq./kWh und für Polen permanent über 700 g CO_2-Äq./kWh (Electricity Maps ApS., 2025). Die Systemgrenze definiert, welcher Strom mit welcher THG-Belastung für den Verbrauch bezogen oder durch eine Produktion ersetzt wird. Bei den Faktenblättern des Projekt Klimaneutrale Landwirtschaft (KNL) Graubünden wurde für Strom aus Biogasanlagen als Referenzszenario ein EU-Strommix mit hoher THG-Belastung (500 g CO_2-Äq./kWh) gewählt, weil die Biogasanlage flexibel zum gewünschten Zeitpunkt Strom produzieren und daher Strom mit einer hohen THG-Belastung ersetzen kann. Mit den Massnahmen Effizienzsteigerung, Elektrifizierung oder dem Betrieb von Photovoltaik-Anlagen können hingegen deutlich weniger Flexibilitäten bereitgestellt werden. Daher wurde für diese Technologien der Vergleich mit dem Schweizer Strommix gewählt, der mit 57 g CO_2-Äq./kWh deutlich tiefere THG-Emissionen aufweist als ein EU-Strommix.

Der Autor schätzt, dass mit einer optimierten Steuerung durch die Nutzung von Flexibilitäten THG-Einsparungen im Bereich von 5 – 10 g CO_2-Äq./kWh möglich sind.

2.3 Vertrauen in die Wirksamkeit

Effizienzmassnahmen und die Elektrifizierung von Antrieben und Fahrzeugen sind Minderungsmassnahmen mit hohem Vertrauen in die Wirksamkeit. Dies liegt daran, dass die Prozesse klar zugeordnet und einfach überprüft werden können und somit in die Kategorie «Hohe Übereinstimmung & Robuste Evidenz» gemäss der Skala des IPCC fallen (**Abbildung 1**).

Bei der Nutzung von Flexibilitäten ist das Vertrauen in die Wirksamkeit leicht geringer. Der Wirkungsmechanismus ist unbestritten, aber ob die Umsetzung auf Grund der hohen Dynamik im Stromsystem immer optimal erfolgen kann, ist noch nicht abschliessend geklärt. Daher ist hier die Kategorie «Hohe Übereinstimmung & Mittlere Evidenz» gegeben. (**Abbildung 1**).

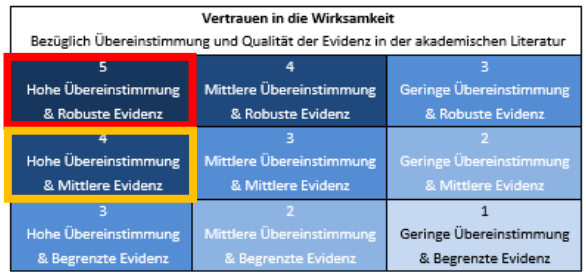

Abbildung 1: *Vertrauen in die Wirksamkeit in Effizienzmassnahmen und die Elektrifizierung von Antrieben und Fahrzeugen (rot umrandet) und in Flexibilitäten (orange umrandet; nach Mastrandrea et al., 2010).*

3 Systembetrachtung

3.1 Synergien

Effizienzmassnahmen:

- Durch die Reduktion des Energieinputs werden oft Emissionen wie Lärm und Abgase/Schadstoffe reduziert und Kosten für Energie eingespart.

Elektrifizierung:

- Reduziert ebenfalls Emissionen wie Lärm und Abgase/Schadstoffe und zusätzlich gewisse Vibrationen am Gerät, was den Bedienkomfort erhöht.

Die genannten Synergien haben positive Auswirkungen auf Menschen und Tiere.

- Die Elektrifizierung bietet auch die Möglichkeit zur Automatisierung mit entsprechender Optimierung des Betriebsablaufs.

Flexibilitäten:
- Bei der Nutzung von Flexibilitäten sind Synergien – abgesehen vom finanziellen Vorteil - oft nicht gegeben. Im Idealfall führt die Nutzung von Flexibilitäten zu einer erhöhten Automatisierung auf dem Betrieb.

3.2 Limitierungen, Zielhierarchien

Effizienzmassnahmen:
- Wenn die Effizienzmassnahmen dazu führen, dass antriebsschwächere Geräte eingesetzt werden, kann die Qualität oder Geschwindigkeit der ausgeführten Arbeit leiden. So können z.B. Doppelmessermähwerke unter Umständen weniger sauber mähen. Und wenn für Effizienzgewinne die Leistung reduziert wird, kann die Arbeitsgeschwindigkeit reduziert sein. Damit geht auch Flexibilität verloren.

Elektrifizierung:
- Bei der Elektrifizierung von Geräten ist das Stromnetz/der Hausanschluss eine mögliche Limitierung. Beispielsweise hat ein elektrischer Futtermischwagen die gleiche Leistung wie mehrere Elektroboiler und kann so im Extremfall zu lokalen Überlastungen der elektrischen Installationen auf dem Betrieb führen.
- Bei der Umstellung auf elektrische Fahrzeuge ist insbesondere die Zeit, die mit einer Akkuladung gearbeitet werden kann, begrenzt. Zusammen mit der im Vergleich zum Tanken langsamen Aufladung der Akkus ist eine Limitierung gegeben.
- Bei elektrischen Fahrzeugen ist die Anzahl der Vollzyklen des Akkus zu beachten. Wird ein Akku eines Fahrzeugs nur wenige Male pro Jahr verwendet, wird der Umstieg durch die hohen Kosten und THG-Emissionen nicht die gewünscht Wirkung erzielen.

Flexibilitäten:
- Der Einsatz von Flexibilitäten wird durch zwingende Betriebsabläufe limitiert. Viele mit Strom betriebenen Geräte können nur begrenzt zeitlich flexibel eingesetzt werden. So lassen beispielsweise Melkanlagen oder Milchkühler kaum Flexibilitäten zu.

3.3 Kostenbetrachtungen

Effizienzmassnahmen können im besten Fall kostenlos und in der Regel ohne grössere Investitionen umgesetzt werden (z.B. Eco-Drive). Daher können Effizienzmassnahmen als mehrheitlich ökonomisch positiv beurteilt werden.

Alle anderen Massnahmen müssen situativ betrachtet werden. Bei vielen Elektrogeräten und -fahrzeugen sind neben dem Anschaffungspreis die Anzahl Betriebsstunden ausschlaggebend. Nur mit genügend Betriebsstunden, die bei Elektrogeräten oft günstiger sind als bei fossil betriebenen Geräten, kann die Anfangsinvestition amortisiert werden. Auch die Entwicklung der Treibstoff- und Strompreise entscheidet über die Wirtschaftlichkeit einer Elektrifizierung.

Bei den Flexibilitäten ist entscheidend, welche Kosten für die lokale Steuerung und Speicherung sowie die übergeordneten Steuersignale anfallen. Der Preisvorteil für Flexibilitäten dürfte in Zukunft sinken. Nur wer Flexibilität kostengünstig nutzen kann, erzielt eine Rendite.

Eine projektspezifische Kostenbetrachtung wird unter Punkt 4.1 bei den Erfahrungen aus den Pilotprojekten aufgegriffen.

4 Überlegungen zum umsetzbaren Potential Kanton Graubünden

Die Abschätzung des Potenzials zur Reduktion der THG-Emissionen durch Energieeffizienz, Elektrifizierung und Flexibilitäten ist mit relativ grossen Unsicherheiten verbunden.

Bei der Elektrifizierung wird generell angenommen, dass bis 2050 Maschinen bis ca. 80 kW Leistung elektrifiziert werden können. Maschinen mit Leistungen bis ca. 150 kW können bei günstigen Voraussetzungen ebenfalls elektrifiziert werden und Maschinen mit höherer Leistung müssen auf alternative Treibstoffe ausweichen (KTBL, 2024). Genaue Angaben zur Maschinennutzung im Kanton Graubünden fehlen und es sind sehr viele alte Maschinen registriert (ASTRA, 2025). Deshalb wird als grobe Abschätzung angenommen, dass 70% des aktuellen Treibstoffeinsatzes auf den Betrieben durch Elektroantriebe ersetzt werden kann (also Leistung < 150 kW). Diese Annahme basiert darauf, dass in der Bündner Landwirtschaft eher wenig Maschinen mit hoher Leistung in Betrieb sind. Pro Liter ersetzten Treibstoff kann mit einer Reduktion der THG-Emissionen von ca. 2 kg CO_2-Äq. gerechnet werden (**Tabelle 1**). In den letzten Jahren wurden im Kanton Graubünden pro Jahr ca. 100 landwirtschaftliche Fahrzeuge mit einer Leistung < 80 kW zugelassen. Davon haben weniger als 5 Fahrzeuge einen elektrischen Antrieb.

Auch Massnahmen bezüglich Energieeffizienz und Flexibilitäten sind zwingend, u.a. für die Stabilisierung des Stromnetzes, aber nicht mit vertretbarem Aufwand detailliert quantifizierbar. Für Effizienzmassnahmen wird angenommen, dass diese bis 2050 den gesamten Stromverbrauch um 10% reduzieren können. Bei Flexibilitäten wird bis 2050 davon ausgegangen, dass eine Reduktion von 5 – 10 g CO_2-Äq./kWh des gesamten Stromverbrauchs erreicht werden kann.

4.1 Erfahrungen aus den Pilotprojekten

In den Pilotprojekten wurden verschiedene Massnahmen aus den Bereichen Energieeffizienz und Elektrifizierung umgesetzt. Im Folgenden werden die einzelnen Massnahmen und ihre Wirkung kurz erläutert. Anschliessend werden allgemeingültige Massnahmen zur Effizienzsteigerung aufgeführt.

Einsatz eines Doppelmessermähwerks:
Der Einsatz eines Doppelmessermähwerks reduziert den Energieverbrauch deutlich im Vergleich mit einem Rotationsmähwerk. Die Energieeinsparung begründet sich in der effizienteren Schnitttechnik nach dem Scherenprinzip und der gleichmässigen Schnittgutverteilung, die keine zusätzliche Überfahrt zur Verteilung benötigt. Die Erfahrungen aus den Pilotprojekten zeigen, dass mit der Doppelmessertechnik total ca. 5.8 l Diesel pro Hektare eingespart werden kann. Der tiefere Leistungsbedarf und das geringere Gewicht im Vergleich zum Rotationsmähwerk erlauben die Verwendung kleinerer Trägerfahrzeuge mit entsprechend positiven Auswirkungen auf die Bodenbelastung. Ein schonender Schnitt mit besserem Wiederaufwuchsverhalten und eine Schonung der Fauna sind weitere Gründe, die für ein Doppelmessermähwerk sprechen (Burri, 2022).

In den Pilotprojekten hat sich gezeigt, dass auf keinem der 3 Pilotbetriebe, die eine direkte Umstellung von einem Rotationsmähwerk getestet hatten, die Doppelmessertechnik durchgehend positiv bewertet wird. Mindestens ein Betrieb hat das Doppelmessermähwerk wieder verkauft und die anderen sind unsicher, ob sie diese Technik weiter nutzen sollen. Ein hoher Wartungsaufwand und teilweise unsauberer Schnitt wurden als Nachteile dieser Technik genannt.

Umstellung auf einen elektrisch angetriebenen Einachsmäher
Drei Pilotbetriebe haben bei der Firma Novaziun einen elektrischen Einachsmäher vom Typ „Monotrac“ gekauft und getestet. Der Mäher hat eine Akkukapazität von 15.6 kWh und ist mit einem Portalmähwerk mit Doppelmessertechnik von 3 m Breite ausgestattet. Der Monotrac wurde für verschiedenste Anwendungen genutzt. Die folgenden Aussagen gelten für den Mähbetrieb. Der Energieverbrauch des Monotrac liegt bei 3.6 kWh/ha, während ein identischer Mäher mit Benzinantrieb 23 kWh/ha verbraucht. Die weiteren Vorteile des Monotrac

liegen in der deutlich tieferen Lärm- und Vibrationsbelastung sowie dem von den Pilotkunden genannten sehr angenehmen „Handling“. Auch unter Anrechnung der grauen Energie des Akkus (200 Betriebsstunden, Lebensdauer 10 Jahre, Verbrauch 3.5 kWh/h, graue Energie Akku 100 kg CO_2-Äq./kWh, Belastung Strom 57 g CO_2-Äq./kWh), können mit dem Monotrac jährlich ca. 1200 kg CO_2-Äq. eingespart werden. Weitere Einsparungen sind bei mehr Betriebsstunden oder bei Nutzung des Akkus als Stromspeicher/Flexibilität möglich.
Finanziell kann durch die deutlich tieferen Wartungs- und Energiekosten von ähnlichen Gesamtkosten über 10 Jahre ausgegangen werden. Das Investitionsrisiko durch den hohen Anschaffungspreis ist höher als bei einem fossil betriebenen Mäher.

Einsatz von Flexibilitäten in Form von Eigenverbrauchsoptimierung oder Stromspeicher
Bei klassischen Eigenverbrauchsoptimierungen von Solarstrom werden elektrische Brauchwarmwassererwärmer, Wärmepumpen zur Gebäudeheizung oder Elektroautos so betrieben, dass diese Strom brauchen, sobald dieser von der eigenen PV-Anlage zur Verfügung steht. In einem Pilotprojekt wurde eine spezielle Variante der Eigenverbrauchsoptimierung umgesetzt – ein **Futtermischwagen** wurde mit einem Frequenzumformer und einer intelligenten Steuerung ausgerüstet, so dass der Futtermischprozess immer dann läuft, wenn die eigene PV-Anlage genügend Strom produziert. Mit dem Frequenzumformer kann bei Bedarf die Leistung des Futtermischwagens der Solarstromproduktion angepasst werden. Im optimalen Fall können so täglich ca. 12 kWh Solarstrom im Eigenverbrauch genutzt werden. Bei einer Einsatzdauer von Oktober bis Mai (8 Monate) sind CO_2-Äq.-Einsparungen von ca. 50 kg möglich (Vorteil durch Nutzung Solarstrom 17 g CO_2-Äq./kWh). Bei der Installation und Programmierung der Steuerung muss der Betriebsablauf möglichst exakt geplant und iterativ getestet werden. Im Pilotversuch zeigte sich beispielsweise, dass das Einschalten des Mischers zu ungewohnten Zeiten bei den Tieren für Unruhe sorgte. Dies konnte durch die Umplatzierung des Mischwagens gelöst werden. Wirtschaftlich sind solche Installationen nur dann interessant, wenn bereits in der elektrischen Grundinstallation der Einbau der technischen Elemente wie Steuerung, Stromversorgung, Schalter, etc. vorgesehen wird.

In zwei Projekten wurde der Akku des **Elektromähers/Monotracs bidirektional** betrieben. Dazu wurde ein spezieller Batteriewechselrichter und eine Steuerung installiert. Während das erste Projekt noch mit Spezialanfertigungen realisiert wurde, konnte das zweite Projekt bereits mit Produkten „ab Stange“ realisiert werden. Der Akku der Elektromäher wird analog zu einem Stromspeicher im Gebäude so geladen und entladen, dass Solarstrom für den späteren Eigenverbrauch gespeichert wird. Der finanzielle und ökologische Nutzen dieses Systems variiert sehr stark in Abhängigkeit der Grösse des Akkus, des Stromverbrauchs auf dem Betrieb und der Grösse der PV-Anlage. Im optimalen Fall kann der Akku des Monotrac ca. 250 Mal vollständig mit Solarstrom geladen und in der Nacht entladen werden. Daraus ergibt sich eine Einsparung von 60 kg CO_2-Äq. pro Jahr (Vorteil durch Nutzung Solarstrom 17 g CO_2-Äq./kWh). Die Investitionen belaufen sich auf 5‘000-10‘000 CHF in Abhängigkeit der Voraussetzungen für die Elektroinstallation. Kritisch muss der Standby-Verbrauch der bidirektionalen Wechselrichter und der Steuerungen betrachtet werden. Auch die Raumtemperatur am Standort des Monotracs ist entscheidend. Im ungünstigsten Fall muss der Akku zuerst aufgeheizt werden, bevor eine Aufladung möglich ist. Standby und allfälliges Aufheizen können rasch mehrere hundert kWh Strom pro Jahr benötigen und so die Vorteile des bidirektionalen Systems reduzieren.

Weitere Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz
Massnahmen im Bereich Heizen und Kühlen wurden in der Pilotphase im Projekt KNL Graubünden nicht umgesetzt. Grundsätzlich bieten Massnahmen in diesen Bereichen jedoch ein sehr grosses Potenzial, da sowohl die Wärme- wie auch Kälteproduktion energieintensiv sind. Zusätzlich lässt sich Wärme oder Kälte (thermische Energie) einfach und effizient speichern. Die Umstellung auf eine ökologische Heizung mit Wärmeerzeugung über Sonne/Holz oder Wärmepumpen sollte immer geprüft werden. Wenn thermische Energie aus Strom produziert wird (z.B. Wärmepumpe), ist eine Zeitsteuerung in Kombination mit einem Speicher für die thermische

Energie eine perfekte Flexibilität, die in naher Zukunft umgesetzt werden sollte, um von den ökologischen (THG-Reduktion) und ökonomischen Vorteilen beim Stromeinkauf zu profitieren.

Das zweite grosse Feld für Effizienzmassnahmen sind Motoren/Antriebe (Fahrzeuge, Pumpen, Ventilatoren, Kompressoren, Rührwerke/Mischer). Hier steht die Elektrifizierung im Vordergrund in Kombination mit einer „intelligenten" Steuerung und Optimierung mittels Frequenzumformer/Drehzahlsteuerung.

5 Förderung und Überwachung

5.1 Monitoring, Reporting and Verifikation

Für Effizienzmassnahmen ist die Reduktion der THG-Emissionen in der Regel einfach über den reduzierten Energieverbrauch zu berechnen. Eine systematische Erfassung auf dem Betrieb kann über die Stromrechnung oder die Treibstoffrechnung erfolgen.

Die Reduktion der THG-Emissionen ist bei der Elektrifizierung von Fahrzeugen oder Geräten ebenfalls einfach und hinreichend genau ermittelbar. Über den bisherigen Treibstoffverbrauch kann berechnet werden, welche Einsparungen an THG-Emissionen bei der Umstellung auf einen Elektroantrieb zu erwarten sind.

Bei den Flexibilitäten ist die Bestimmung der Reduktion der THG-Emissionen deutlich schwieriger. Die Bestimmung der Anzahl Kilowattstunden, die gespeichert und/oder zeitlich verschoben wurden, kann gemessen werden. Ob diese Verschiebung hingegen eine positive oder negative Auswirkung auf die THG-Emissionen hat, ist nur mit grossem Aufwand berechenbar. Es ist zu hoffen, dass in Zukunft Preissignale beim Strom dazu führen, dass Energiemanagement-Systeme auf Grund finanzieller Vorteile automatisch auch klimafreundlich optimieren.

5.2 Existierende und mögliche weitere Förderprogramme und Instrumente

Auf der Website *www.energiefranken.ch* sind die meisten Schweizer Förderprogramme aufgeführt. Über die Eingabe der Standortgemeinde werden alle für diese Gemeinde verfügbaren Förderungen aufgelistet.

Pro Kilowatt (*https://www.prokw.ch/de/*) ist ein Förderprogramm des Bundesamtes für Energie, welches Effizienzmassnahmen unterstützt, die den Stromverbrauch reduzieren. Für viele Bereiche wie Motoren, Kälte, Lüftung, Pumpen und Beleuchtung gibt es spezialisierte Förderprogramme.

Auf der Website von *www.Topten.ch* sind energieeffiziente Produkte für Haushalt und Gewerbe zu finden – oft auch mit Preisangaben.

Die Stiftung KliK fördert verschiedene Projekte zur Reduktion von THG-Emissionen in der Landwirtschaft (*https://www.klik.ch/schweiz/landwirtschaft/*).

Die Landwirtschaftliche Energieberatung agriPEIK (https://www.agrocleantech.ch/de/fuer-landwirte/energieberatung.html) unterstützt Landwirt:innen bei der Umsetzung von Energieeffizienzmassnahmen. Neben einer umfassenden Energieanalyse wird bei Bedarf auch die Umsetzung von Massnahmen begleitet.

6 Fazit und Empfehlung

Einige Effizienzmassnahmen können mit minimalen Investitionen umgesetzt werden, während andere hohe Investitionen erfordern. Damit die Massnahmen ohne Investitionsbedarf umgesetzt werden, braucht es primär Vermittlung des relevanten Wissens an die Betriebe. Dies kann über Schulungen oder regelmässige Berichterstattung in verschiedenen Medien erfolgen.

Für den Einsatz von Effizienzmassnahmen mit hohem Investitionsbedarf und insbesondere für die Nutzung von Flexibilitäten ist vorausschauendes Handeln gefragt. Wenn bereits bei der Anschaffung von Geräten oder beim Bau von Gebäuden/Anlagen die spätere Nutzung von Flexibilitäten eingeplant wird, sind die Kostenvorteile bei der späteren Investition/Umsetzung sehr gross. Daher sollte bei grösseren Anschaffungen oder Bauten immer auch eine Kurzberatung (alternativ eine Checkliste) genutzt werden, um auf die Möglichkeiten von Effizienzmassnahmen oder Flexibilitäten hinzuweisen. Ab einem definierten Investitionsvolumen müsste eine solche Beratung vorgeschrieben werden.

Die Elektrifizierung von Fahrzeugen und Geräten ist in der Regel mit höheren Anschaffungskosten verbunden. Langfristig sind elektrifizierte Antriebe oft nur geringfügig teurer als die Variante mit Verbrennungsmotor. Daher sollte die Unterstützung bei der Elektrifizierung darauf abzielen, die Anfangsinvestition zu reduzieren oder diese langfristig abzusichern. Dazu könnte eine Investitionshilfe bei der Elektrifizierung in Abhängigkeit der eingesparten Menge fossilen Treibstoffs gesprochen werden.

Um Sicherheit für getätigte Investitionen zu erhalten, sollte ein Risikofonds geschaffen werden, der einspringt, wenn an sich rentable Investitionen auf Grund von unvorhersehbaren Ereignissen (z.B. Konkurs der Herstellerfirma, Totalverlust ohne Garantie, etc.) nicht amortisiert werden können. Damit könnten z.B. den Bedenken von Interessenten an Elektromähern, dass die teure Batterie nicht die versprochene Lebensdauer hat, begegnet werden.

Grundsätzlich haben die Projekte im Bereich Elektrifizierung von Maschinen und Energieeffizienz sehr unterschiedliche Ansatzpunkte zur THG-Reduktion. Daher wird zusätzlich auch die Unterstützung von Pilotprojekten auf Anfrage empfohlen.

7 Literatur

AgroCleanTech. (o. D.). Treibstoff sparen. Abgerufen am 19. Juni 2026, von https://www.agroclean-tech.ch/de/energieeffizienz/treibstoff-sparen.html

Bundesamt für Strassen (ASTRA). (2025). *BEST_ANDERE-20250201.txt* [Datensatz]. Open Data des Bundesamtes für Strassen (ASTRA). Abgerufen am 2. Dezember 2025 von https://opendata.astra.admin.ch/ivzod/1000-Fahrzeuge_IVZ/1300-Fahrzeugbestaende/1320-Datensaetze_monatlich/1323-Vorjahrsdaten/BEST_ANDERE-20250201.txt

Bundesamt für Umwelt (BAFU). (2024). *Faktenblatt CO_2-Emissionsfaktoren des Treibhausgasinventars der Schweiz* (Stand April 2024). https://www.kbob.admin.ch/dam/de/sd-web/Ov7IumBLw3iS/20230116_Faktenblatt_CO2-Emissionsfaktoren_04-2024_DE.pdf

Burri, J.-P. (2022, 26. April). Doppelmessermähwerke gewinnen an Terrain. UFA-Revue. Abgerufen am 2. Dezember 2025, von https://www.ufarevue.ch/landtechnik/doppelmessermaehwerke-gewinnen-an-terrain/

Crenna, E., Gauch, M., Widmer, R., Wäger, P., & Hischier, R. (2021). Towards more flexibility and transparency in life cycle inventories for Lithium-ion batteries. *Resources, Conservation & Recycling, 170*, 105619. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105619

Electricity Maps ApS. (2025). *Electricity Maps interactive map – hourly & 72 h forecast*. Abgerufen am 2. Dezember 2025, von https://app.electricitymaps.com/map/72h/hourly

Energie-Experten. (o. D.). Energieeffizienz im Haushalt: So sparen Sie Strom. Abgerufen am 19. Juni 2026, von https://www.energie-experten.ch/de/wohnen/detail/energieeffizienz-im-haushalt-so-sparen-sie-strom.html

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE). (n.d.). *Energy Charts: Stromerzeugung in Deutschland* [Webseite]. Abgerufen am 2. Dezember 2025, von https://www.energy-charts.info/?l=de&c=DE

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL). (2024). *Verwendung erneuerbarer Antriebsenergien in landwirtschaftlichen Maschinen: Maßnahmenkatalog*. Darmstadt. https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/Artikel/Energie/Antriebsenergien/12649_Antriebssysteme-Massnahmen.pdf

Llamas-Orozco, J. A., Meng, F., Walker, G. S., Abdul-Manan, A. F. N., MacLean, H. L., Posen, I. D., & McKechnie, J. (2023). Estimating the environmental impacts of global lithium-ion battery supply chain: A temporal, geographical, and technological perspective. *PNAS Nexus, 2*(11), pgad361. https://doi.org/10.1093/pnasnexus/pgad361

Mastrandrea, M. D., Field, C. B., Stocker, T. F., Edenhofer, O., Ebi, K. L., Frame, D. J., Held, H., Kriegler, E., Mach, K. J., Matschoss, P. R., Plattner, G.-K., Yohe, G. W., & Zwiers, F. W. (2010). *Guidance note for lead authors of the IPCC Fifth Assessment Report on consistent treatment of uncertainties*. Intergovernmental Panel on Climate Change. https://ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/uncertainty-guidance-note.pdf

Mobility Genossenschaft. (n.d.). *Wirkungsgrad: Elektroautos sind weitaus effizienter*. Abgerufen am 2. Dezember 2025, von https://mobility.ch/elektromobilitaet/nutzung-elektroauto/wirkungsgrad-elektroautos-weitaus-effizienter

TÜV NORD. (n.d.). *Alternative Antriebe – Wasserstoff*. Abgerufen am 2. Dezember 2025, von https://www.tuev-nord.de/de/wissen/ratgeber-und-tipps-mobilitaet/alternative-antriebe-wasserstoff/

Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen (VSE). (2025). *CO_2-Gehalt des Strommix Schweiz*. https://www.strom.ch/de/dokument/co2-gehalt-des-strommix-schweiz/